



**TUGAS AKHIR- TL141584**

**PENGARUH pH, LAJU ALIRAN FLUIDA DAN PERBANDINGAN VOLUME INHIBITOR PADA *FLOW LOOP SYSTEM* TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON RENDAH ST-41 DI LINGKUNGAN  $\text{CH}_3\text{COOH}$**

GDE DODDY RAHYUDHA

NRP. 02511340000073

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc

Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

**Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh November  
Surabaya  
2017**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **FINAL PROJECT- TL141584**

# **THE EFFECT OF pH, FLOW RATE OF FLUID AND VOLUME RATIO OF INHIBITOR ON FLOW LOOP SYSTEM TO CORROSION CHARACTERISTICS OF ST-41 LOW CARBON STEEL IN $\text{CH}_3\text{COOH}$ ENVIRONMENT**

**GDE DODDY RAHYUDHA**

**NRP. 02511340000073**

**Advisor**

**Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc**

**Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T**

**Department of Material Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH pH, LAJU ALIRAN FLUIDA DAN  
PERBANDINGAN VOLUME INHIBITOR PADA *FLOW  
LOOP SYSTEM* TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI  
BAJA KARBON RENDAH ST-41 DI LINGKUNGAN  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$**

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

pada


Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Gde Doddy Rahyudha**

NRP. 02511340000073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  Pembimbing 1

Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.  Pembimbing 2



**PENGARUH pH, LAJU ALIRAN FLUIDA DAN  
PERBANDINGAN VOLUME INHIBITOR PADA *FLOW  
LOOP SYSTEM* TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI  
BAJA KARBON RENDAH ST-41 DI LINGKUNGAN  
CH<sub>3</sub>COOH**

**Nama Mahasiswa** : Gde Doddy Rahyudha  
**NRP** : 02511340000073  
**Departemen** : Departemen Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., MT.

**Abstrak**

Korosi pada industri minyak dan gas pada umumnya disebabkan oleh adanya CO<sub>2</sub> namun selain itu, korosi pada industri minyak dan gas juga dapat disebabkan oleh adanya unsur-unsur lain yang terlarut dalam minyak bumi salah satunya yaitu CH<sub>3</sub>COOH. Oleh karena itu, permasalahan korosi harus dikendalikan yaitu dengan memperlambat laju korosi pada sistem perpipaan tersebut. Salah satu cara mengendalikan korosi adalah dengan menggunakan inhibitor korosi. Dalam dunia industri minyak dan gas salah satu inhibitor yang sering digunakan yaitu inhibitor turunan *Imidazoline*. Selain itu belakangan mulai dikembangkan inhibitor berbasis obat. Salah satu obat yang dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor yaitu Parasetamol. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh pH, kecepatan aliran fluida serta perbandingan volume inhibitor terhadap laju korosi pada baja karbon rendah ST-41 serta mempelajari morfologi permukaan baja karbon rendah hasil proses korosi sebagai akibat dari pH dan kecepatan aliran fluida dalam lingkungan CH<sub>3</sub>COOH dengan menggunakan metode *flow loop*. Penelitian ini menggunakan baja karbon rendah ST-41 sebagai kupon uji dengan variasi pH yaitu 4 dan 6 serta kecepatan aliran fluida sebesar 0.5, 1 dan 1.5 m/s dimana pada lingkungan dilakukan penambahan inhibitor yang

terdiri dari *Imidazoline* dan Parasetamol dengan perbandingan volume masing-masing sebesar 25%:75% dan 50%:50% serta pengamatan *weight loss* setiap 4 dan 8 hari. Dan selanjutnya dilakukan pengujian XRD, FTIR dan SEM untuk mengetahui karakteristik serta morfologi baja yang mengalami korosi. Berdasarkan pengujian *weight loss* didapatkan nilai efisiensi inhibitor tertinggi adalah pada sampel pH 6 pada 0.5 m/s, 50%:50% dengan waktu perendaman 4 hari sebesar 65.734%. pengujian XRD menemukan adanya senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{FeOOH}$  sebagai produk korosi dan juga  $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$  yang terbentuk karena reaksi antara Fe dan atom nitrogen pada *pyridine*. Pengujian FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi pada inhibitor campuran yang ditemukan pada sampel. Hasil pengujian SEM menunjukkan gerusan dan permukaan yang kasar yang disebabkan oleh aliran fluida

*Kata Kunci: Korosi, Flow Loop, Laju Aliran Fluida, pH, Perbandingan Volume Inhibitor*

# **THE EFFECT OF pH, FLOW RATE OF FLUID AND THE COMPARATIVE OF INHIBITOR VOLUME IN FLOW LOOP SYSTEM TO CORROSION CHARACTERISTICS OF ST-41 LOW CARBON STEEL IN CH<sub>3</sub>COOH ENVIRONMENT**

**Student Name : Gde Doddy Rahyudha**  
**NRP : 02511340000073**  
**Department : Departement of Material Engineering**  
**Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.**  
**Haniffudin Nurdiansah, S.T., MT.**

## **Abstract**

Corrosion in the oil and gas industry is generally caused by the presence of CO<sub>2</sub> but in addition, corrosion in the oil and gas industry can also caused by the presence of other dissolved elements in the crude oil, one of them is CH<sub>3</sub>COOH. Therefore, the corrosion problem must be controlled by slowing the rate of corrosion in the piping system. One way to control corrosion is to use a corrosion inhibitor. In the oil and gas industry one of the most commonly used inhibitors is the Imidazoline derivative inhibitor. In addition, a drug-based inhibitor was developed. One of the drugs that can be used as an inhibitor is Paracetamol. The purpose of this study is to analyze the effect of pH, flow rate of fluid and the volume ratio of inhibitor to corrosion rate on low ST-41 carbon steel and to study the morphology of low carbon steel surface of corrosion process as a result of pH and flow rate of fluid in CH<sub>3</sub>COOH environment using flow loop. This study use ST-41 low carbon steel as test coupon with pH variation of 4 and 6 and fluid flow velocity of 0.5, 1 and 1.5 m/s in which the addition of an inhibitor consisting of Imidazoline and Paracetamol with volume ratio of 25%:75% and 50%:50% and weight loss observations every 4 and 8 days. The specimens then tested by XRD, FTIR and SEM to determine the corrosion characteristics of ST-41 steel.



Based on the weight loss test, the highest value of inhibitor efficiency is at 0.5 m/s, 50%:50%, pH 6 with 4 days immersion of 65.673%. XRD testing found the presence of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{FeOOH}$  as the corrosion products and also found the presence of  $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$  compounds formed due to the reaction between Fe and nitrogen atoms in pyridine. FTIR result showed the presence of functional groups of the inhibitors found on the sample. SEM test results show cavity and rough surfaces caused by the flow of the fluid.

*Key Word: Corrosion, Flow Loop, Flow Rate of Fluid, pH, Volume Ratio of Inhibitor*

## KATA PENGANTAR

Om Swastyastu.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Ida Shang Hyang Widhi Wasa yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada Departemen Teknik Material FTI-ITS yang berjudul:

### **“PENGARUH pH, LAJU ALIRAN FLUIDA DAN PERBANDINGAN VOLUME INHIBITOR PADA *FLOW LOOP SYSTEM* TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON RENDAH ST-41 DI LINGKUNGAN $\text{CH}_3\text{COOH}$ ”**

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Material FTI-ITS. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Orang tua penulis, Bapak Putu Arimbawa S.E., M.Si dan Ibu Made Mas Suardeni yang selalu mendukung penulis, memberikan berupa moral dan material serta doa.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir dan telah memberikan waktu, ilmu, bimbingan, wawasan serta materil kepada penulis.
3. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan, bimbingan dan semangat saat menulis Tugas Akhir ini.
4. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. selaku Dosen Wali penulis di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Saudara Jodie Steven dan Arif Fajar Himawan yang telah membantu penulis dalam pembuatan alat serta membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
7. Teman Teman Antasena Team yang telah memberikan semangat secara moral dan meminjamkan berbagai alat kepada penulis.
8. Teman-teman Aslab Korosi yang setia menemani dan menghibur setiap saat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
9. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Departemen Teknik Material FTI-ITS terlebih khusus kepada Mas Antok, Mas Dayat, Mas Ridho dan Pak Moko yang telah sangat banyak membantu penulis.
10. Teman-teman MT 15 yang selalu membantu penulis dengan baik dan memberikan dorongan dan semangat.
11. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Desember 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Definisi korosi.....	5
2.2 Mekanisme korosi.....	6
2.3 Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi.....	10
2.3.1 Pola Aliran Fluida.....	13
2.3.2 Pengaruh PH Terhadap Korosi Baja.....	14
2.3.3 Asam Leman dan Asam Kuat.....	17
2.3.4 Asam Asetat.....	18
2.4 Baja Karbon Rendah ST-41.....	19
2.5 Metode Penghambat Laju Korosi.....	20
2.6 Inhibitor.....	20
2.6.1 Jenis-jenis Inhibitor.....	21
2.7 Inhibitor Turunan Imidazoline.....	24
2.8 Parasetamol.....	27
2.9 Perhitungan Laju Korosi.....	28
2.9.1 Metode Kehilangan Berat.....	28
2.9.2 Metode Ekstrapolasi Tafel.....	31
2.10 Korosi pada Baja Karbon.....	35
2.11 Penelitian Sebelumnya.....	35
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	

3.1 Diagram Alir Percobaan.....	47
3.2 Prosedur Penelitian.....	48
3.2.1 Metode Penelitian.....	48
3.2.2 Alat.....	48
3.2.3 Bahan.....	49
3.2.4 Preparasi Alat.....	50
3.2.5 Prosedur Penelitian.....	51
3.2.6 Preparasi Uji Weight Loss.....	51
3.2.7 Preparasi Elektrolit.....	54
3.2.8 Preparasi Inhibitor.....	55
3.3 Pengujian-pengujian.....	56
3.3.1 Pengujian Weight Loss.....	56
3.3.2 Pengujian XRD.....	58
3.3.3 Pengujian SEM.....	59
3.3.4 Pengujian FTIR.....	60
3.4 Rancangan Pengambilan Data dan Penelitian.....	61
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian.....	63
4.1.1 Hasil Pengujian Weight Loss.....	63
4.1.2 Hasil Pengujian XRD.....	67
4.1.3 Hasil Pengujian FTIR.....	69
4.1.4 Penegamatan Morfologi Spesimen.....	73
4.2 Pembahasan.....	81
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>xv</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	<b>lxi</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Mekanisme Korosi.....	7
<b>Gambar 2.2</b> Syarat Terjadinya Reaksi Korosi.....	9
<b>Gambar 2.3</b> Pengaruh pH terhadap Laju Korosi.....	15
<b>Gambar 2.4</b> Struktur Molekul Imidazoline.....	25
<b>Gambar 2.5</b> Struktur Molekul dari (a) <i>Pyridine</i> (b) <i>Pyrrole</i> dan (c) <i>Imidazole</i> .....	26
<b>Gambar 2.6</b> Spektrum FTIR <i>Imidazoline</i> .....	27
<b>Gambar 2.6</b> Struktur Molekul Parasetamol.....	28
<b>Gambar 2.7</b> Salah Satu Bentuk Kupon Analisa <i>Weight Loss</i> ....	29
<b>Gambar 2.8</b> Kupon yang Telah Terkorosi.....	30
<b>Gambar 2.9</b> Alur Kurva Tafel.....	32
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	47
<b>Gambar 3.2</b> Rancangan Alat Flow Loop 3D.....	50
<b>Gambar 3.3</b> Rancangan alat Flow Loop 2D.....	51
<b>Gambar 3.4</b> Spesimen Uji <i>Weight Loss</i> .....	53
<b>Gambar 3.5</b> Tempat Spesimen Uji.....	53
<b>Gambar 3.6</b> Penimbangan Awal Spesimen.....	54
<b>Gambar 3.7</b> Pengukuran pH Elektrolit dengan pH Meter.....	55
<b>Gambar 3.8</b> Pengukuran pH Elektrolit dengan Kertas pH.....	55
<b>Gambar 3.9</b> Pengujian <i>Weight Loss</i> .....	56
<b>Gambar 3.10</b> Mesin XRD.....	58
<b>Gambar 3.11</b> Mesin SEM.....	59
<b>Gambar 3.12</b> Alat Uji FTIR.....	60
<b>Gambar 4.1</b> Laju Korosi Baja ST-41 pada Variasi Laju Aliran di pH 4.....	63
<b>Gambar.4.2</b> Laju Korosi Baja ST-41 pada Variasi Penambahan Inhibitor di pH 4.....	64
<b>Gambar 4.3</b> Laju Korosi Baja ST-41 pada Variasi Laju Aliran di pH 6.....	65
<b>Gambar.4.4</b> Laju Korosi Basa ST-41 pada Variasi Penambahan Inhibitor di pH 6.....	65
<b>Gambar 4.5</b> Laju Korosi pada Variasi pH.....	66

<b>Gambar 4.6</b> Laju Korosi Baja ST-41 dengan Penambahan Inhibitor pada Variasi Waktu Perendaman.....	67
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Pengujian XRD Spesimen pada $\text{CH}_3\text{COOH}$ pH 6 Laju Aliran 0.5 m/s dengan Penambahan Inhibitor.....	68
<b>Gambar 4.8</b> Hasil FTIR pada Obat Parasetamol.....	70
<b>Gambar 4.9</b> Hasil Uji FTIR Spesimen. ....	72
<b>Gambar 4.10</b> Pengamatan Visual Spesimen pada pH 4 (a) Tanpa Inhibitor, (b) 25%:75% inhibitor dan (c) 50%:50% Inhibitor....	73
<b>Gambar 4.11</b> Pengamatan Visual Spesimen pada pH 6 (a) Tanpa Inhibitor, (b) 25%: 75% inhibitor dan (c) 50%:50% Inhibitor...	74
<b>Gambar 4.12</b> Spesimen Sebelum Proses Perendaman (a)100x (b)1000x.....	75
<b>Gambar 4.13</b> Hasil Uji SEM Spesimen dengan Perlakuan Perendaman $\text{CH}_3\text{COOH}$ tanpa Penambahan Inhibitor (a) pH 4 pada 0,5 m/s 100x (b) pH 4 pada 0.5 m/s 500x (c) pH 6 pada 0.5 m/s 100x (d) pH 6 pada 0.5 m/s 500x.....	76
<b>Gambar 4.14</b> Hasil Uji SEM Spesimen dengan Perlakuan Perendaman $\text{CH}_3\text{COOH}$ tanpa Penambahan Inhibitor Laju Aliran 1.5 m/s (a) pH 4 100x (b) pH 4 1000x (c) pH 6 75x (d) pH 6 (500x).....	77
<b>Gambar 4.15</b> Hasil Uji SEM Spesimen dengan Perlakuan Perendaman $\text{CH}_3\text{COOH}$ dengan Penambahan Inhibitor 25% : 75% Laju Aliran 0.5 m/s (a) pH 4 100x (b) pH 4 100x (c) pH 6 100x (d) pH 6 1000x.....	78
<b>Gambar 4.16</b> Hasil Uji SEM Spesimen dengan Perlakuan Perendaman $\text{CH}_3\text{COOH}$ dengan Penambahan Inhibitor 25%:75% Laju Aliran 1.5 m/s (a) pH 4 100x (b) pH 4 1000x (c) pH 6 100x (d) pH 6 1000x.....	80



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Reaksi katoda yang terjadi pada logam.....	8
<b>Tabel 2.2</b> Perbedaan asam kuat dan asam lemah menurut Bruice.....	18
<b>Tabel 2.3</b> Hubungan laju korosi dan ketahanan.....	34
<b>Tabel 2.4</b> Penelitian- penelitian Sebelumnya.....	35
<b>Tabel 3.1</b> Komposisi Baja ST-41.....	49
<b>Tabel 3.2</b> Rancangan Percobaan Uji <i>Weight Loss</i> .....	57
<b>Tabel 3.3</b> Tabel Rencana Pengujian.....	61
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Analisa FTIR Inhibitor Imidasolin.....	69
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Analisa FTIR Obat Parasetamol.....	71
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Analisa Spesimen.....	72



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

**1.1 Latar belakang**

Pipa banyak digunakan pada industri minyak dan gas dikarenakan pipa dianggap merupakan metode yang paling ekonomis dan layak untuk mengangkut material seperti minyak dan gas, hidrokarbon, air laut, air hasil produksi dan material lainnya yang berhubungan dengan proses eksploitasi, transportasi, penyulingan dan penyimpanan pada industri minyak dan gas (Shahriar dkk, 2012). Salah satu ancaman besar terhadap manajemen keselamatan jaringan perpipaan dalam produksi minyak dan gas bumi adalah korosi yang mewakili sekitar 20%-40% dari insiden kegagalan pada pipa yang pernah tercatat (Palmer, 2008), lebih spesifik lagi, 81% kegagalan korosi disebabkan oleh korosi internal. Korosi internal dapat menyebabkan terjadinya pengurangan ketebalan yang parah dan mengurangi kapasitas mekanik pipa tersebut (Chen dkk, 2014).

Baja pada dunia industri sangat umum digunakan. Umumnya baja karbon pada sistem perpipaan digunakan untuk mengangkut minyak dan dari satu tempat ke tempat lain. Hal tersebut di karenakan baja karbon yang memiliki sifat mekanik yang baik dan memiliki keuletan yang baik selain itu juga harga dari baja karbon sangat murah. Namun di sisi lain baja karbon sendiri memiliki beberapa kelemahan, yang salah satunya yaitu tidak tahan terhadap korosi. (Ostovari dkk, 2009). Baja ringan (MS), karena kekuatan mekaniknya yang tinggi dan biaya rendah, telah memantapkan dirinya sebagai salah satu bahan utama konstruksi, jaringan pipa dan kapal di pabrik produksi dan kilang minyak (Singh, 2010).

Pada minyak mentah terkandung berbagai senyawa asam dimana salah satu senyawa yang terkandung pada minyak mentah yaitu asam asetat. Asam asetat merupakan senyawa asam lemah yang artinya hanya terdisosiasi sebagian menjadi ion  $H^+$  dan  $CH_3COO^-$ , yang konsentrasinya mendominasi total jumlah asam lemah dalam minyak mentah (Dewi, 2012). Dimana proses cracking bertujuan untuk memecah rantai hidrokarbon yang



panjang menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek serta adanya penghilangan oksigen dari kandungan minyak hasil destilasi salah satunya penghilangan oksigen pada asam asetat.

Oleh karena itu, permasalahan korosi harus dikendalikan yaitu dengan memperlambat laju korosi pada sistem perpipaan tersebut. Salah satu cara mengendalikan korosi adalah dengan menggunakan inhibitor korosi (Hassan, 2013).

Di antara banyak prosedur untuk proteksi logam terhadap korosi, penggunaan inhibitor korosi adalah metode yang paling praktis selain keuntungannya dari segi ekonomi, efisiensi tinggi, dan penerapannya yang luas di berbagai bidang. Inhibitor korosi adalah zat kimia apapun yang mengurangi kemerosotan logam oleh efek lingkungannya bila ditambahkan ke medianya (biasanya dalam jumlah kecil) (Fakiha, 2016).

Berdasarkan hal yang sudah di jelaskan di atas, maka dilakukan penelitian yang membahas korosi menggunakan *flow loop system* pada simulasi berbagai laju aliran fluida pada karakteristik korosi di baja karbon rendah ST-41 dengan beberapa variasi nilai pH dengan penambahan inhibitor Imidazolin dan parasetamol pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  30% sebagai media fluidanya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pH, kecepatan aliran fluida serta variasi perbandingan volume inhibitor *imidazoline* dan parasetamol terhadap karakteristik korosi baja karbon rendah ST-41 menggunakan *flow loop system*?
2. Bagaimana mekanisme korosi pada baja karbon rendah ST-41 ditinjau dari variasi pH, kecepatan aliran fluida serta variasi perbandingan volume inhibitor?



---

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Kondisi permukaan tiap-tiap baja karbon rendah dianggap homogen dan bebas cacat.
2. Kecepatan aliran dianggap konstan selama pengujian.
3. Dianggap tidak ada perubahan terjadi pada temperatur dan volume larutan selama pengujian.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh pH, kecepatan aliran fluida serta perbandingan volume inhibitor terhadap karakteristik korosi baja karbon rendah ST-41 menggunakan *flow loop system*.
2. Mempelajari mekanisme korosi baja karbon rendah ST-41 ditinjau dari variasi pH, kecepatan aliran fluida serta perbandingan volume inhibitor.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mempelajari pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi pada pipa baja yang biasa diaplikasikan pada perusahaan minyak dan gas.
2. Hasil dari penelitian dapat dijadikan sebagai informasi yang saling melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya mengenai laju korosi pada *flow loop system*.
3. Mampu memberikan inspirasi dan motivasi bagi peneliti lain agar dapat terus mengembangkan potensi yang ada pada penggunaan alat *flow loop system*.
4. Hasil penelitian dapat dijadikan informasi mengenai keefisienan penggunaan inhibitor *imidazoline* dan parasetamol sebagai inhibitor korosi



*(Halaman sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Definisi Korosi

Definisi dari korosi yaitu penurunan kualitas atau kerusakan pada suatu material (logam) karena terjadinya reaksi dengan lingkungan (Fontana, 1997). Korosi merupakan penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur unsur lain yang terdapat di alam. Berdasarkan proses elektrokimia (*electrochemical process*), korosi terdiri dari 4 komponen utama yaitu:

#### a) *Anode* (Anoda)

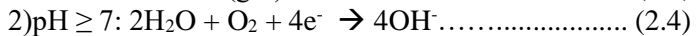
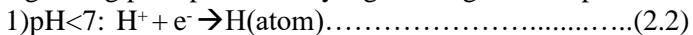
Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atomatom logam netral untuk membentuk ionion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Reaksi pada anoda dapat dituliskan dengan persamaan:



Dengan z adalah valensi logam dan umumnya  $z = 1, 2$  atau  $3$

#### b) *Cathode* (Katoda)

Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi. Reaksi pada katoda tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti:



#### c) Elektrolit

Elektrolit adalah larutan yang mempunyai sifat menghantarkan listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basa dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda.



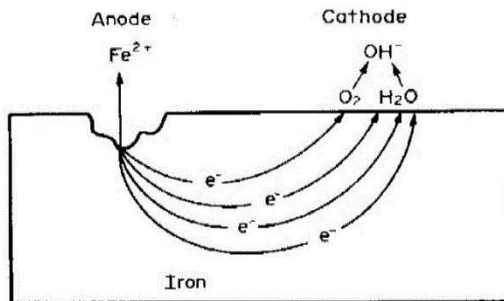
d) Anoda dan Katoda harus terhubung

Secara listrik, antara anoda dan katoda harus ada hubungan listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama (Fajar, 2013). Logam yang mengalami penurunan mutu tidak hanya melibatkan reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia, yakni antara bahan-bahan yang bersangkutan dengan terjadinya perpindahan elektron (Ardi, 2016).

Dikarenakan korosi merupakan suatu proses kembalinya logam ke bentuk alamnya, maka belum ada metode yang dapat menghentikan terjadinya korosi namun berbagai metode untuk menghambat laju korosi sudah banyak diteliti dan ditemukan.

## **2.2. Mekanisme Korosi**

Mekanisme korosi pada umumnya terjadi pada suatu larutan berawal dari suatu logam yang teroksidasi dalam larutan elektrolit yang kemudian melepaskan elektron, sehingga perlu menyetimbangkan muatan yang berada pada logam itu sendiri. Logam yang melepaskan ion yang bermuatan positif di dalam elektrolit berikatan dengan ion bermuatan negatif dari elektrolit tersebut. Hal tersebut menjadikan suatu endapan yang melekat pada permukaan logam tersebut yang disebut dengan produk korosi atau karat. Pada umumnya larutan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang terjadi yaitu pelepasan  $H_2$  dan reduksi  $O_2$  akibat ion  $H^+$  dan  $H_2O$  yang tereduksi setelah terjadi reaksi tersebut. Reaksi yang terjadi di permukaan logam tersebut terjadi secara terus menerus sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron di terima sehingga menyebabkan pengelupasan permukaan pada logam hingga akhirnya logam kehilangan massa karena adanya reaksi tersebut. Mekanisme korosi selanjutnya digambarkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Mekanisme Korosi (Jones, 1992)

Korosi menurut Jones adalah reaksi kimia yang dihasilkan dari reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menghasilkan suatu reaksi elektrokimia. Dari dua reaksi setengah sel tersebut terdapat reaksi oksidasi dan reduksi secara berturut turut pada anoda dan katoda. Sedangkan proses korosi dapat terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi sebagai berikut: (Jones, 1992)

1. Logam atau Material

Didalam logam atau Material itu sendiri terdapat 2 komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu :

- Anoda

Yaitu tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negatif terkumpul. Anoda sendiri dapat didefinisikan sebagai bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Anoda sendiri biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion ion yang bersangkutan. Pada anoda, logam terlarut dalam larutan kemudian melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan (2.1). Dengan banyaknya





elektron yang di ambil dari masing masing atom yang di tentukan oleh valensi logam tersebut. Umumnya nilai dari  $n$  adalah 1,2 atau 3.

- Katoda

Yaitu tempat terjadinya reaksi reduksi dimana ion positif berkumpul. Katoda dapat didefinisikan elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda pada katoda biasanya tidak mengalami korosi namun demikian mungkin dapat terjadi pada katoda, tergantung juga dengan  $pH$  larutan. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan  $H_2$  dan reduksi  $O_2$ .

**Tabel 2.1** Reaksi katoda yang terjadi pada logam

Nama Reaksi	Reaksi
Perubahan hidrogen (asam)	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \dots\dots\dots (2.5)$
Reduksi air (netral/basa)	$H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^- \dots\dots\dots (2.6)$
Reduksi oksigen (asam)	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \dots\dots\dots (2.7)$
Reduksi oksigen (netral/basa)	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ Sesuai dengan reaksi pada persamaan (2.4)
Reduksi ion logam	$M^{3+} + e^- \rightarrow M^{2+} \dots\dots\dots (2.8)$

## 2. Elektrolit

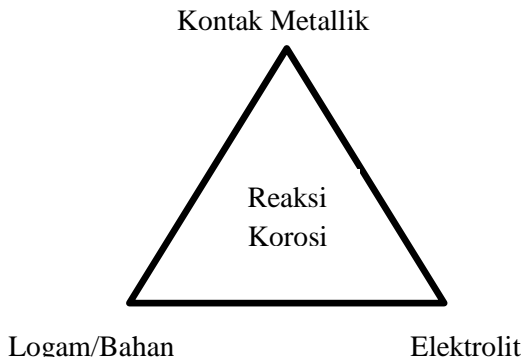
Suatu reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi apabila antara anoda dan katoda terdapat larutan elektrolit. Elektrolit berfungsi menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *electroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka



semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda antara lain lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah dan minyak.

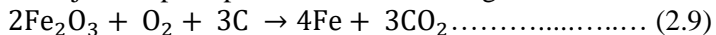
### 3. Kontak Metallik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda



**Gambar 2.2** Syarat Terjadinya Reaksi Korosi (Jones, 1992)

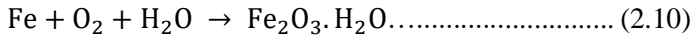
Korosi pada baja sendiri terjadi karena adanya ketidak stabilan termodinamika (Marcellius, 2010). Ketika proses pembuatan baja dengan mereduksi bijih besi seperti *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) di dalam *blast furnace* dengan karbon yang berupa kokas, hal ini ditunjukkan pada persamaan kimia sebagai berikut:



Produk berupa baja yang dihasilkan sangatlah tidak stabil, karena energi yang dibutuhkan dalam memulai proses reduksi bijih besi sangatlah besar. Sehingga pada produk akhir berupa baja memiliki kecenderungan untuk kembali kedalam bentuk awalnya



ketika mengalami kontak langsung dengan uap air, oksigen atau air. Hal ini dapat ditunjukkan dalam persamaan kimia (2.10)



Senyawa hasil kontak langsung baja dengan lingkungan adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  atau lebih kita kenal dengan karat pada baja. Senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  memiliki kesamaan dengan bijih besi hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), hal ini membantu menjelaskan kenapa baja cenderung berkarat ketika mengalami kontak langsung dengan lingkungan.

### 2.3. Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

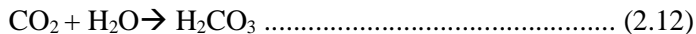
Umumnya problem korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya:

- a. Faktor Zat Terlarut
  - $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Asam Asetat), asam asetat bersifat korosif terhadap banyak logam seperti besi, magnesium, dan seng, membentuk gas hidrogen dan garam-garam asetat (disebut logam asetat). Asam Asetat menghasilkan logam etanoat bila bereaksi dengan logam, dan menghasilkan logam etanoat, air, dan karbondioksida bila bereaksi dengan garam karbonat atau bikarbonat.
  - Oksigen ( $\text{O}_2$ ), adanya oksigen yang terlarut menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild stell alloys* bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm pada temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut:



Dan reaksi katoda yang terjadi sesuai dengan reaksi pada persamaan (2.4).

- Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), jika karbon dioksida dilarutkan dalam air maka terbentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:



$\text{FeCO}_3$  merupakan produk korosi yang dikenal sebagai *sweet corrosion*.

- Klorida ( $\text{Cl}$ ), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan *stainless steel*. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrosion, dan juga menyebabkan pecahnya *alooy*s.
- Karbonat ( $\text{CO}_3$ ), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah.
- Sulfat ( $\text{SO}_4$ ), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

b. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka besar kemungkinan terbentuk korosi.

c. Faktor pH

---

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



---

pH netral adalah 7, sedangkan  $pH < 7$  bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk  $pH > 7$  bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi meningkat pada  $pH < 7$  dan pada  $pH > 13$  (Sidiq, 2013).

d. Pertumbuhan Mikrobiologi

Secara teoritis apabila tidak terdapat zat asam, maka laju korosi pada baja relatif lambat, namun pada kondisi-kondisi tertentu ternyata laju korosinya justru tinggi sekali. Setelah diselidiki ternyata di daerah tersebut hidup sejenis bakteri anaerobik yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat asam. Bakteri ini mengubah garam sulfat menjadi asam yang reaktif dan menyebabkan korosi.

e. Faktor Padatan Terlarut

- Klorida ( $Cl$ ), klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan *stainless steel*. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion* dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang menyebabkan campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif laju korosinya juga lebih tinggi.
- Karbonat ( $CO_3$ ), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- Sulfat ( $SO_4$ ), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif.

f. Aliran fluida

Aliran fluida yang tinggi diatas kecepatan kritisnya di dalam pipa berpotensi menimbulkan korosi. Kerusakan permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat deras itu yang disebut erosi. Bagian yang kasar dan tajam yang mudah

---



terserang korosi dan bila ada gesekan menimbulkan abrasi lebih berat lagi (Bayuseno, 2012). Proses erosi dipercepat oleh kandungan partikel padat dalam fluida yang mengalir tersebut atau oleh adanya gelembung-gelembung gas. Dengan rusaknya permukaan logam, rusak pula lapisan film pelindung sehingga memudahkan terjadinya korosi. Kalau hal ini terjadi maka proses ini disebut karat erosi.

### **2.3.1 Pola Aliran Fluida**

Fluida atau zat cair (termasuk uap air dan gas) dibedakan dari benda padat karena kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan. Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut, zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair dan gas, zat cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan gaya yang sangat besar dan gas tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap, gas berkembang mengisi seluruh wadah. Dengan demikian keduanya secara kolektif disebut sebagai fluida. Pola aliran fluida terbagi kedalam 3 kategori, yaitu:

- Aliran Laminar  
Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak secara teratur dengan semua partikel bergerak secara sejajar. Aliran dengan fluida yang bergerak dalam bentuk lapisan lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar
- Aliran Transisi  
Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar menuju aliran turbulen.
- Aliran Turbulen

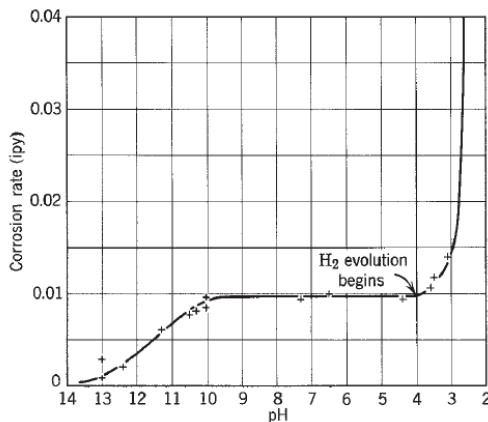


---

Aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan-pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran (Ichikawa, 1973).

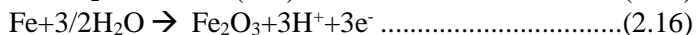
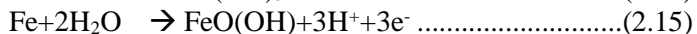
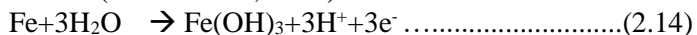
### **2.3.2 Pengaruh pH terhadap Korosi Baja**

Seperti kita ketahui yang mempengaruhi proses korosi baja adalah potensial (volt) dan tingkat keasaman (pH). Semakin rendah pH ( $\text{pH} \leq 4$ ) maka kemungkinan logam tersebut untuk terkorosi semakin besar karena daerah logam terurai menjadi ion logam yang berada di lingkungan asam. Sedangkan pada daerah pH 4-10 laju korosi pada baja tidak tergantung dari pH, namun tergantung dari cepat lambatnya difusi oksigen ke permukaan logam. Pada daerah asam ( $\text{pH} \leq 4$ ) deposit besi oksida terlarut pH menurun, dan baja kontak langsung dengan larutan. Sedangkan pada pH di atas 10, laju korosi berkurang sebab baja membentuk lapisan pasif di permukaannya (ASM vol.13, 2003). Pengaruh pH terhadap laju korosi dapat dilihat pada Gambar 2.3



**Gambar 2.3** Pengaruh pH terhadap Laju Korosi (ASM vol.13, 2003).

Biasanya nilai pH pada elektrolit dapat berbeda dengan pH aktual di permukaan logam tergantung dari reaksi yang terjadi di permukaan. Reduksi oksigen menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  yang dapat meningkatkan nilai pH, namun di bawah deposit produk korosi nilai pH dapat ditekan. Ketika pH elektrolit 4 atau  $< 4$  amaka lapisan oksida protektif terlarut dan terekspos di permukaan metal. Korosi semakin cepat terjadi karena kadar oksigen terlarut berkurang pada permukaan logam di pH rendah. Kedua reaksi yaitu evolusi hydrogen dan reduksi oksigen menjadi reaksi katodik. Pada peningkatan pH di atas 4, besi oksida terprecipitasi dari larutan ke bentuk deposit. Ketika korosi uniform tiba tiba menurun, di bawah deposit terbentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  di permukaan bajanya. Reaksi anodiknya sebagai berikut (ASM vol.13, 2003):







Deposit tersebut bersifat sebagai penahan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada peningkatan pH, deposit oksida besi berubah dari sedikit bersifat adherent di pH 6 menjadi keras dan kuat pada  $\text{pH} > 8$

Pada kondisi asam kuat ( $\text{pH} < 5$ ) baja karbon memperlihatkan ketergantungan kompleks laju korosi terhadap pH. Pada pH rendah, mekanisme korosi tidak hanya tergantung konsentrasi ion hidrogen tetapi juga kehadiran ion-ion atau komponen larutan lainnya.

Mekanisme proses korosi berdasarkan variable pH untuk baja yaitu laju korosi meningkat pada pH yang sangat rendah, laju korosi tidak tergantung pH pada range pH netral, laju korosi menurun dengan peningkatan pH, dan akhirnya laju korosi meningkat kembali pada pH yang sangat tinggi (ASM vol.13, 2003)

Berlaku untuk semua pH. Namun, laju korosi bervariasi dan cenderung berubah pada reaksi reduksi di katodik. Pada intermediat range pH 4- 10, deposit besi oksida porous muncul di sekeliling permukaan dan dipertahankan sekitar pH 9.5. laju korosi mendekati konstan dan ditentukan dengan difusi pelarutan oksigen uniform melewati deposit pada intermediat range pH tersebut. Pada permukaan metal di bawah deposit, oksigen direduksi secara katodik dengan reaksi di larutan asam telah dituliskan pada persamaan (2.4).

Difusi pelarutan oksigen mengontrol laju korosi pada level konstan di range pH 4-10. Dengan demikian, variabel metalurgi yang mempengaruhi reaksi anodik baja karbon tidak memberikan dampak terhadap laju korosi. Hal ini tidak berlaku untuk  $\text{pH} < 4$  dimana reaksi katodik  $\text{H}^+$  (Jones, 1997).

Pada larutan yang lebih asam dengan  $\text{pH} < 4$ , oksida terlarut dan proses korosi meningkat, mengarah pada reduksi  $\text{H}^+$ , reaksinya sesuai dengan persamaan (2.5).

Ketiadaan deposit di permukaan baja dapat meningkatkan akses pelarutan oksigen, sehingga menyebabkan laju korosi baja meningkat. Pelarutan oksigen merupakan reaksi reduksi katodik



dalam asam dengan penambahan oksigen terlarut berdasarkan (2.7).

Sedangkan pada  $\text{pH} > 10$ , laju korosi rendah mengarah ke pembentukan film besi oksida dengan adanya pelarutan oksigen. Sedangkan pada  $\text{pH}$  di atas 14 tanpa adanya oksigen yang terlarut, laju korosi kemungkinan meningkat karena ion ferrite  $\text{FeO}_2^-$  terbentuk (Jones, 1997).

Pada range  $\text{pH}$  4-10 laju korosi tidak tergantung oleh  $\text{pH}$  yang di kontrol difusi oksigen. Sedangkan pada  $\text{pH} < 4$  evolusi hidrogen merupakan faktor pengontrol laju korosi. Sedangkan pada  $\text{pH} > 10$ , laju korosi menurun karena pasivasi di permukaan yang disebabkan oleh adanya oksigen dan alkalis (Elsevier, 2006)

Poin penting bahwa pengaruh  $\text{pH}$  terhadap korosi baja pada  $\text{pH}$  rendah bukan hal sederhana. Hal tersebut dikarenakan persamaan kinetik berhubungan dengan laju korosi. Jadi, pengaruh variabel  $\text{pH}$  terhadap proses korosi sangatlah kompleks (ASM vol 13, 2006).

### 2.3.3 Asam Lemah dan Asam Kuat

Menurut Svante Arrhenius asam adalah zat yang, saat dilarutkan dalam air, menghasilkan larutan ion hidrogen. Dalam setiap kasus, ionnya dianggap timbul dari reaksi disosiasi asam induk atau mendasarkan. Johannes Nicolaus Brønsted (Denmark) dan Thomas Martin Lowry (Inggris) menerbitkan teori yang sama tentang bagaimana asam dan basa berperilaku. Teori Lowrie-Brønsted didasarkan pada gagasan bahwa reaksi asam basa melibatkan transfer proton dari satu zat ke zat lainnya. Asamnya adalah donor proton dan basa akseptor proton (Hunter, 1998).

Teori Brønsted-Lowry sangat berguna untuk memahami kekuatan asam dan basa dari sudut pandang migrasi proton. Berdasarkan teori ini, kita bisa membandingkan banyak asam dan basa menggunakan nilai  $\text{pH}$ , dan  $\text{pK}_a$  atau  $\text{pK}_b$ . Banyak buku teks menjelaskan asam kuat sebagai asam memiliki nilai  $\text{pK}_a$  lebih rendah (*higher*  $K_a$ ) dan asam lemah sebagai asam yang memiliki



nilai  $pK_a$  lebih tinggi (*lower*  $K_a$ ). Di sisi lain, “*Organic Chemistry*”, ‘edisi kelima’, ditulis oleh Bruice, membedakan antara asam kuat dan lemah asam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Munegumi, 2013)

**Tabel 2.2** Perbedaan asam kuat dan asam lemah menurut Bruice

Tipe Asam	$K_a$	$pK_a$
Asam sangat kuat	$>0.1$	$<1$
Asam cukup kuat	$10^{-3}$ - $0.1$	1-3
Asam lemah	$10^{-15}$ - $10^{-5}$	3-5
Asam sangat lemah	$10^{-15}$ - $10^{-5}$	5-15
Asam teramat lemah	$<10^{-15}$	$>15$

Dalam literatur lain juga dijelaskan perbedaan mengenai asam kuat dan asam lemah dimana asam yang memiliki muatan elektronegativitas lebih banyak di antara atom atau molekul dikenal sebagai "Asam Kuat". Contoh:  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  ... dll.

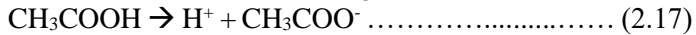
Sedangkan asam yang memiliki muatan elektronegativitas lebih sedikit di antara atom atau molekul dikenal sebagai "asam lemah". Contoh:  $CH_3COOH$ ,  $H_2CO_3$  ... dll (Thadaka, 2014).

### 2.3.4 Asam Asetat

Di dalam minyak mentah terdapat banyak senyawa yang turut terlarut. Salah satunya adalah keberadaan asam lemah. Beberapa kandungan asam lemah yang paling banyak ditemukan adalah asam asetat, asam propionate, dan asam formid dalam jumlah 300-500 ppm. Asam asetat sendiri mendominasi jumlah asam lemah total dengan jumlah antara 50-90% kandungan asam lemah total. Di sisi lain, dari sudut pandang komersil, asam asetat sejauh ini adalah asam organik terpenting di antara asam karbon di seri alifatik. Asam asetat diterapkan dalam pembuatan obat-obatan dan *pharmaceuticals*, rayon dan plastik, karet dan industri sutera (Singh, 2010).



Adanya asam asetat mempunyai pengaruh penting terjadinya korosi dan telah diteliti selama 25 tahun yang lalu. Asam asetat terdisosiasi menurut reaksi sebagai berikut:



Asam asetat dapat bereaksi dengan baja karbon membentuk besi(2)asetat. Reaksinya adalah seperti berikut:



Asam asetat sendiri diyakini berpengaruh dalam proses korosi dalam dua cara. Pertama, asam asetat bertindak sebagai penyedia ion hidrogen dan memiliki efek terbatas pada pH (bertindak sebagai penyangga). Kedua, asam asetat bebas diyakini berkurang langsung pada permukaan logam dengan cara yang sama sebagai asam karbonat. Kontribusi terhadap pengurangan ion hidrogen menyebabkan peningkatan arus katodik (Dewi, 2012).

## 2.4. Baja Karbon Rendah ST-41

Baja ST 41 adalah baja struktur standardisasi jerman (*DIN=Deutch Industrie Normae*) mampu menahan kekuatan tarik sebesar 41 kgf/mm<sup>2</sup>. Sifat-sifat yang dimiliki oleh baja ST 41 adalah sebagai berikut:

- Mempunyai kekuatan yang cukup tinggi
- Mempunyai nilai kekerasan yang cukup
- Stabilitas dimensi yang baik

Karena memiliki sifat-sifat seperti yang disebutkan diatas, maka baja ST 41 banyak dipakai pada: poros, batang penekanan (*plunger*) pin, camshaft, spring pin dan lain-lain.

St.41 dengan unsur-unsur 0,1517% karbon, 0,1994% silikon, 0,5631% mangan, 0,0224% pospor dan 0,047% sulfur. Baja untuk spesimen uji ini diperoleh dari agen resmi penjual baja PT. Benteng Anugerah Sejahtera, Surabaya (Yudha, 2015)



---

## 2.5. Metode Penghambat Laju Korosi

Ada berbagai metode yang dapat dilakukan untuk menghambat atau mengurangi laju korosi akibat interaksi lingkungan dengan logam, secara garis besar diantaranya adalah: memodifikasi prosedur, memodifikasi lingkungan, memodifikasi logam dan penambahan *protective coating*. Skema ini menunjukkan kesesuaian metode untuk melindungi logam dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengurangi laju korosi, salah satunya dengan pemakaian inhibitor. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana. Inhibitor korosi didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan menurunkan serangan korosi terhadap struktur baja.

## 2.6. Inhibitor

Pencegahan Korosi bergantung pada jenis korosi yang terjadi pada material terkorosi. Saat ini ada beberapa cara pencegahan korosi yaitu pemilihan logam yang tahan korosi, perubahan lingkungan, perlindungan anodik dan katodik (Callister, 1997). Salah satu metode yang terus di kaji saat ini adalah pencegahan korosi dengan menggunakan inhibitor korosi selain harganya murah prosesnya juga sederhana (Beni, 2008).

Pencegahan korosi dengan Inhibitor Korosi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, cara yang paling mudah dan paling murah adalah dengan menambahkan inhibitor ke dalam media. Inhibitor adalah senyawa yang bila ditambahkan dengan konsentrasi yang kecil kedalam lingkungan elektrolit, menurunkan laju korosi. Inhibitor dapat dianggap sebagai katalisator yang memperlambat (*retarding catalyst*). Pemakaian inhibitor dalam suatu sistem tertutup atau sistem resirkulasi, pada umumnya hanya dipakai sebanyak 0.1% berat. Inhibitor yang ditambahkan menyebabkan:

- 1). Meningkatkan polarisasi anoda



- 2). Meningkatnya polarisasi katoda
- 3). Meningkatnya bahan tahanan listrik dari sirkuit oleh pembentukan lapisan tebal pada permukaan logam.

Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. Namun demikian, pada kenyataannya bahwa bahan kimia sintesis ini merupakan bahan kimia yang berbahaya, harganya lumayan mahal, dan tidak ramah lingkungan, maka sering industri-industri kecil dan menengah jarang menggunakan inhibitor pada sistem pendingin, sistem pemipaan, dan sistem pengolahan air produksi mereka, untuk melindungi besi/baja dari serangan korosi. Untuk itu penggunaan inhibitor yang aman, mudah didapatkan, bersifat biodegradabel, biaya murah, dan ramah lingkungan sangatlah diperlukan. Inhibitor dari ekstrak bahan alam adalah solusinya karena aman, mudah didapatkan, bersifat biodegradable, biaya murah, dan ramah lingkungan. Ekstrak bahan alam khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang membentuk senyawa kompleks dengan logam (Gogot, 2010)

### **2.6.1 Jenis-jenis Inhibitor**

Inhibitor dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu *enviromental conditioner* dan *interface inhibitor*.

#### **A. *Enviromental Conditioners*.**

Pengendalian korosi dilakukan dengan cara menghilangkan penyebab terjadinya korosi pada media tersebut. Karena, zat-zat agresif penyebab korosi telah dihilangkan dari media tersebut, maka laju korosi menurun. Proses pengambilan zat-zat yang bersifat agresif disebut *environmental conditioners* atau *scavengers*. Pada situasi pada larutan alkali atau daerah sekitar kondisi netral, penggunaan *scavengers* dapat mengontrol laju korosi dengan menurunkan kandungan oksigen.



---

### **B. Interface Inhibitor**

Pengendalian korosi pada interface inhibitor dilakukan dengan cara membentuk lapisan tipis pada daerah interface atau daerah yang kontak langsung dengan lingkungan. *Interface inhibitor* dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu inhibitor fasa uap (*vapour phase*) dan inhibitor fasa cair (*liquid phase*).

#### **1. Inhibitor Fasa Cair (*Liquid Phase*)**

Inhibitor fasa cair dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu inhibitor anodik, inhibitor katodik dan inhibitor campuran. Pembagian ini berdasarkan reaksi mana yang dihambat apakah reaksi anodik, katodik, maupun keduanya.

##### **a. Inhibitor Anodik**

Inhibitor anodik bekerja untuk mengurangi laju korosi dengan cara membentuk atau memfasilitasi pembentukan lapisan film yang menghambat reaksi terlarutnya logam anoda. Penggunaan inhibitor anodik harus memperhatikan konsentrasi kritisnya. Apabila, konsentrasi kurang dari konsentrasi kritisnya, maka korosi menyerang permukaan logam. Konsentrasi kritis dalam pemberian inhibitor ini bergantung pada lingkungan dan konsentrasi ion yang bersifat agresif (Uhlig, 2000).

##### **b. Inhibitor Katodik**

Inhibitor katodik adalah inhibitor yang dapat menurunkan laju korosi dengan cara menghambat salah satu tahap pada proses katodik. Molekul organik netral teradsorpsi di permukaan logam, sehingga mengurangi akses ion hidrogen menuju permukaan elektroda. Dengan berkurangnya akses ion hidrogen yang menuju permukaan elektroda, maka *hydrogen overvoltage* meningkat, sehingga menghambat reaksi evolusi hidrogen yang berakibat menurunkan laju korosi. Inhibitor katodik dianggap aman meskipun jumlah inhibitor yang ditambahkan terlalu sedikit. Hal ini karena seberapa banyak bagian dari katoda yang terselimuti oleh lapisan garam tetap menurunkan laju korosi (Paksi, 2015)

---



---

### c. Inhibitor Campuran.

Inhibitor campuran pada dasarnya adalah senyawa organik yang tidak dapat dikelompokkan ke dalam golongan anodik maupun katodik. Keefektifan inhibitor organik dikaitkan dengan luasnya daerah adsorpsi yang melindungi permukaan logam dari korosi. Penyerapan atau adsorpsi inhibitor bergantung pada struktur inhibitor, muatan yang ada di permukaan logam dan jenis elektrolit. Inhibitor campuran melindungi permukaan logam dengan tiga cara yaitu *physical adsorption*, *chemisorption*, dan *pembentukan film*. *Physical (electrostatic) adsorption*, proses penyerapan atau adsorpsinya dapat terjadi karena adanya gaya tarik menarik (elektrostatik) antara permukaan logam dan inhibitor. Ketika permukaan logam bermuatan positif, maka inhibitor dengan muatan negatif (anion) terjadi penyerapan atau adsorpsi. Apabila molekulnya memiliki muatan positif, molekul tersebut bergabung dengan muatan negatif sebagai perantara, sehingga dapat menghambat muatan positif logam. Inhibitor ini memiliki kelebihan yaitu proses adsorpsinya sangat cepat tetapi memiliki kekurangan yaitu mudah lepas dari permukaan logam. Peningkatan temperatur juga mengakibatkan kerusakan molekul yang teradsorpsi.

### 2. Vapour Phase Inhibitor

Penggunaan inhibitor ini adalah untuk melindungi permukaan logam dari serangan korosi atmosfer. Penggunaanya dilakukan dengan menggunakan kertas pembungkus atau menempatkannya pada wadah tertutup. Proses inhibisinya disebabkan oleh penguapan yang lambat dari inhibitor sehingga logam terlindungi dari udara dan kelembapan (Uhlig, 2000).

### 2.7. Inhibitor Turunan Imidazoline

Senyawa organik telah sukses digunakan sebagai inhibitor korosi dikarenakan memiliki rantai hidrokarbon yang panjang dan

---





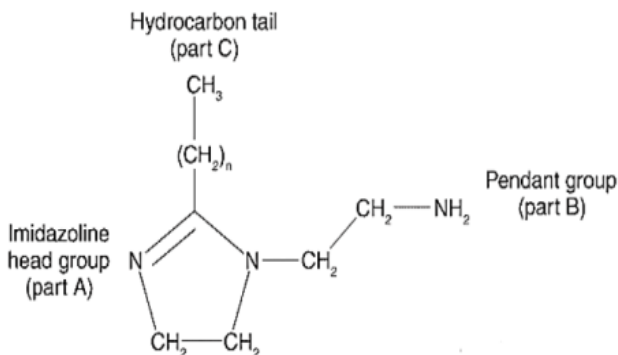
mengandung *heteroatoms* dengan kepadatan elektronik yang tinggi (yaitu N, O, P, S). Senyawa ini membentuk ikatan yang kuat dengan atom Fe yang mengarah pada suatu jenis adsorpsi dan pembentukan film pada permukaan metalik. Untuk memahami mekanisme inhibisi korosi, beberapa peneliti telah mempelajari efisiensi inhibisi inhibitor korosi yang digunakan, seperti oleic imidazolin (OI) dan prekursornya (OA), dengan kuantifikasi orbital molekul HOMO-LUMO dan GAP, begitupun juga dengan beberapa indeks teoretis lainnya. Surfaktan organik berbasis nitrogen seperti imidazolines, amida, turunan benzimidazol dan *amido amines* telah umum digunakan untuk melindungi baja dalam sistem sumur minyak dan gas (Olivares-Xometl, 2006). Imidazolin (IM) dan turunannya telah diidentifikasi menjadi suatu inhibitor korosi yang paling efektif untuk penanganan korosi baja karbon di lingkungan CO<sub>2</sub>, dan juga dianggap sebagai green inhibitor karena memiliki biodegradabilitas yang baik (Y.Z. Li, N. Xu, X.P. Guo, G.A. Zhang, 2017).

Alasan mengapa imidazolin adalah inhibitor yang efisien meliputi: (a) adanya kelompok NH<sub>2</sub> yang suka membentuk ikatan koordinasi pada antarmuka logam/inhibitor; (b) cincin planar imidazoline dengan nitrogen iminik yang memungkinkan interaksi yang efisien terhadap permukaan logam; (c) struktur molekul dalam bentuk terprotonasi sangat mirip dengan bentuk netral, dalam arti bahwa proses netralitas muatan memfasilitasi penyerapan dan interaksi dengan substrat (Olivares, 2006).

*Imidazoline* dan turunannya adalah salah satu inhibitor organik yang sangat efektif untuk melindungi permukaan logam dari serangan korosi dan telah banyak digunakan, khususnya untuk melindungi serangan korosi CO<sub>2</sub>. Karena sifatnya yang biodegradable, inhibitor turunan imidazoline dapat disebut sebagai *green corrosion inhibitor*. Efisiensi inhibitor turunan imidazoline sangat dipengaruhi oleh daya penyerapannya pada permukaan logam (Zhang, 2015). Inhibitor komersial berbasis turunan imidazoline merupakan salah satu inhibitor surfaktan yaitu molekul yang tersusun atas grup hidrofilik polar yang merupakan kepala



dari molekul dan terdapat grup nonpolar hidrofobik yang merupakan ekor dari molekul. Inhibitor sulfaktan bekerja dengan cara *physical adsorption* maupun secara *chemisorption* pada permukaan logam. Inhibitor organik pada banyak tipe adalah rantai panjang (C18) senyawa hidrogen dan nitrogen. Molekul inhibitor mengandung sebuah kelompok nitrogen amine pada akhir rantai hidrokarbon. Kelompok  $\text{-NH}_2$  yang aktif mengandung elektron yang belum berpasangan yang didonorkan pada permukaan logam. Ikatan *chemisorption* ini, menghalangi reaksi elektrokimia korosi. Kekuatan proteksi inhibitor bergantung pada kekuatan ikatan *chemisorption* ini. Sehingga, molekul air yang bereaksi dengan permukaan logam menjadi terhalang. Pasangan elektron berupa nitrogen ini bersifat hidrofilik yang dengan cara mengganti molekul air dengan molekul inhibitor (Ahmad, 2006).



**Gambar 2.4** Struktur Molekul Imidazoline (Lopez, 2004)

Pada Gambar 2.4 adalah struktur molekul dari inhibitor berbasis *imidazoline*. Mekanisme kerja dari inhibitor korosi berbasis *imidazoline* dapat digambarkan sebagai berikut:

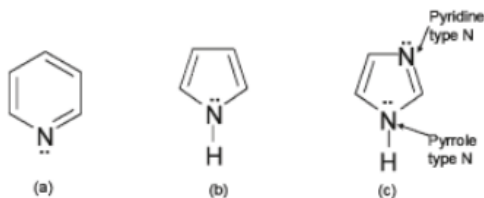
- Pada gugus utama yaitu bagian A mendorong terbentuknya ikatan molekul yang kuat ke permukaan logam



dan menghasilkan susunan lapisan yang terdiri dari satu atau lebih lapisan (layer).

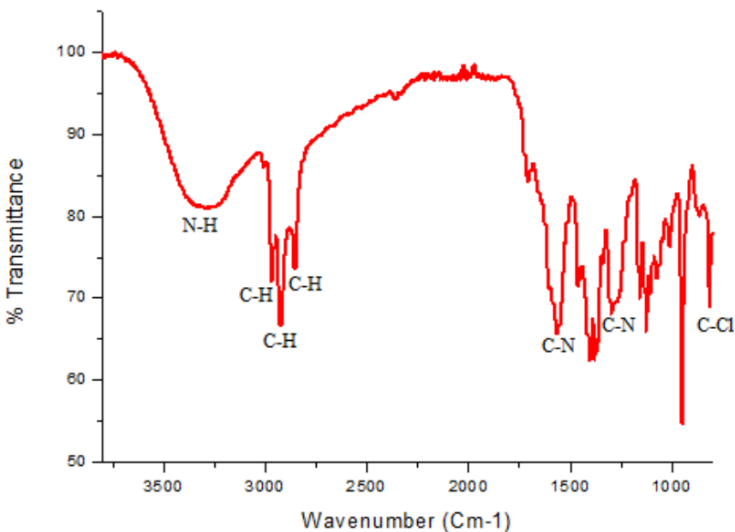
- Pasangan molekul tunggal pada  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2-$  dari gugus pendent yaitu pada bagian B dapat membantu meningkatkan adsorpsi ke permukaan logam, sehingga meningkatkan kemampuan inhibisi korosi

- Rantai hidrokarbon pada bagian C menyelimuti permukaan logam sehingga permukaan logam bersifat hidrofobik.



**Gambar 2.5** Struktur Molekul dari (a) *Pyridine* (b) *Pyrrole* dan (c) *Imidazole* (Bhargava, 2009)

Pada Gambar 2.5 adalah struktur molekul *imidazoline* pada bagian kepala (*head group*). *Imidazoline* memiliki dua atom nitrogen pada bagian kepala. Atom nitrogen yang tidak berikatan dengan hidrogen mempunyai pasangan elektron yang tidak bergabung dengan rantai aromatik pada bagian kepala *imidazoline*. Sedangkan, atom nitrogen yang berikatan dengan hidrogen juga mempunyai pasangan elektron yang bergabung dengan rantai aromatik. Donasi elektron dari atom nitrogen pada *pyridine*, bekerja secara berikatan antara atom nitrogen dan Fe secara *chemisorption*. Sedangkan pasangan elektron pada atom nitrogen *Pyrrole*, dibutuhkan untuk stabilisasi rantai aromatik pada bagian kepala (*head group*) dari struktur *imidazoline* (Bhargava, 2009). Ekor hidrokarbon nonpolar dari molekul inhibitor ini berada secara vertikal terhadap permukaan logam seperti pada gambar 2.14. Rantai hidrokarbon molekul inhibitor ini saling menangkap membentuk lapisan seperti jaring tertutup yang menolak fasa cair yang disebabkan sifat dari karakter hidrofobik. (Lopez, 2004)

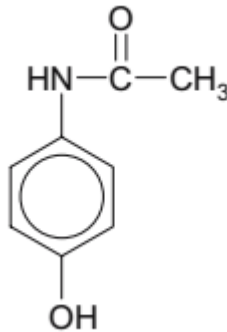


**Gambar 2.6** Spektrum FTIR *Imidazoline* (Dendra, 2017)

## 2.8. Parasetamol

Parasetamol atau asetaminofen atau N-asetil-para-aminofenol adalah obat analgesik dan antipiretik yang populer digunakan. Parasetamol tergolong obat yang agak sukar larut dalam air, kelarutannya dalam air 1:70. Sediaan parasetamol dapat dijumpai dalam bentuk kapsul dan kaplet karena kelarutannya sangat kecil

Carbamazepine (zat aktif 5H-dibenz [b, f] azepine-5-carboxamide) dan Paracetamol (zat aktif N-asetil 4-aminofenol), diproduksi dan digunakan dalam jumlah besar untuk berbagai macam penyakit. Paracetamol merupakan obat-obatan yang tergolong dalam golongan analgesic dan antipiretik. Parasetamol dilaporkan memiliki efisiensi sekitar 85% saat diuji sebagai inhibitor korosi untuk baja karbon di lingkungan asam lemah (Vaszilcsin, 2012).



**Gambar 2.7** Struktur Molekul Parasetamol (Alvio, 2006)

## 2.9. Perhitungan Laju Korosi

Salah satu kegiatan dari *corrosion monitoring* adalah mengetahui laju korosi pada suatu logam, sehingga dengan begitu dapat diprediksi kapan dan berapa lama logam tersebut dapat bertahan dari proses korosi (Jones, Denny, 1992). Sedangkan metode yang digunakan untuk mengetahui laju korosi yaitu dengan metode weight loss dan extrapolasi Tafel yang di jelaskan sebagai berikut.

### 2.9.1 Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Metode Kehilangan berat adalah metode perhitungan korosi dengan cara perhitungan selisih berat awal dengan berat akhir. Metode ini sering digunakan untuk menentukan laju korosi di dalam berbagai lingkungan. Metode ini juga di anut berdasarkan ASTM G1, G4, A90 dan NACE RP 0775. Korosi kupon atau sering disebut *coupon test* sering digunakan untuk pengukuran total kehilangan berat pada periode pencelupan. Hal ini menunjukkan korosi terjadi, sehingga sebuah kupon tunggal belum bisa digunakan untuk menentukan kecepatan korosi beragam atau berubah selama periode pencelupan tersebut. Informasi perubahan kecepatan korosi dapat ditentukan dengan beberapa pemasangan kupon pada waktu dan evaluasi kupon pada waktu



interval yang pendek. Dimana bentuk kupon dapat dilihat pada Gambar 2.7



**Gambar 2.8** Salah Satu Bentuk Kupon Analisa *Weight Loss*  
(Chodijah, 2008)

Interpretasi data pada kupon terdiri dari lokasi, waktu, pengukuran kedalaman, profil permukaan (penggelembungan atau erosi) produk korosi dan atau komposisi sekala (produk yang berbentuk karena karena pencelupan pada larutan yang memiliki pH yang berbeda) dan faktor operasi.

Dalam preparasi kupon, harus bersih dari semua kontaminan (debu, minyak dan produk karat), pengoperasian pengamplasan harus dilakukan dengan hati hati agar terhindar dari pengaruh temperatur tinggi pada permukaan yang mempengaruhi microstruktur kupon tersebut. Untuk setiap sudut dari kupon tersebut harus sedikit di poles agar menghindari adanya konsentrasi tegangan yang mengarah pada korosi karena retak tegangan. Karena jumlah kupon yang di tanam lebih dari satu sehingga pemberian nomor seri menjadi sangat penting dalam penganalisan.

Setelah proses preparasi sampel, data berat, dimensi dan nomor serinya dicata dan juga penduplikasian foto permukaan menjadi sangat penting untuk data perbandingan setelah penanaman. Tipe kupon memiliki dimensi ukuran yang berbeda



eda tergantung alat yang di gunakan atau keinginan pengguna dalam pengaplikasiannya.

Waktu pencelupan harus dipertimbangkan ketika penginterpretasi data dari test coupon tersebut. Pembagian waktu di bagi menjadi dua golongan yaitu golongan waktu pengetesan pendek dan pengetesan panjang. Pada pengetesan pendek dilakukan seleama 15 hingga 45 hari untuk menunjukkan kecepatan korosi dari suatu logam sedangkan waktu pengetesan panjang dilakukan 60 sampai 90 hari untuk mendeteksi serangan pitting (NACE, 2005).

Setelah proses pengetesan dilakukan dalam jangka yang sudah dilakukan, pembersihan dan penghilangan produk korosi dan semua yang terekspose di permukaan harus di lakukan dengan hati hati sebelum berat akhir di ukur. Pembersihan di lakukan secara mekanika, kimia atau keduanya.



**Gambar 2.9** Kupon yang Telah Terkorosi (Chodijah, 2008)

Untuk mengetahui laju korosi maka perlu menggunakan metode wight loss atau pengurangan berat awal dengan berat akhir setelah pengujian. Menurut ASTM G1-03 setelah memperoleh berat akhir pada proses percobaan maka untuk memperoleh laju korosi maka menggunakan rumus

$$\text{Corrosion Rate (CR)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \dots\dots\dots (2.19)$$

W: berat yang hilang (mg)

D: densitas dari sampel uji yang digunakan ( $\text{g/cm}^3$ )

A: luas area dari sampel uji yang digunakan ( $\text{cm}^2$ )

T: waktu ekspos (jam)

K: konstanta faktor

Dengan Pengkonversian unit satuan laju korosi sebagai berikut:

---

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



Desired Corrosion Rate Unit (CR)	Area Unit (A)	K-Factor
mils/year (mpy)	in <sup>2</sup>	$5.34 \times 10^5$
mils/year (mpy)	cm <sup>2</sup>	$3.45 \times 10^6$
millimeters/year (mmy)	cm <sup>2</sup>	$8.75 \times 10^4$

mpy adalah perhitungan kecepatan korosi yang paling populer di amerika seerikat, meskipun ditambahkan penggunaan metric units di beberapa tahun belakangan ini. Konversi Ke *Equivalent Metric Penetration Rate* sebagai berikut:

$$1 \text{ mpy} = 0,0254 \text{ mm/yr} = 25,4 \mu\text{m/yr} = 2,90 \text{ mm/h} = 0,805 \text{ pm/yr}$$

### 2.9.2 Metode Ekstrapolasi Tafel

Ketika suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion ionnya, nilai potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya disebut polarisasi (Trethewey, 1991). Metode polarisasi dapat mengukur laju korosi yang memiliki keuntungan yang sangat baik. biasanya hanya beberapa menit yang dibutuhkan untuk menentukan kecepatan korosi dengan tahan polarisasi, dimana pengukuran kehilangan secara konvensional yang membutuhkan beberapa hari atau lebih. Oleh karena itu, pengukuran semicontinuous pada korosi dapat dimasukkan dimana sangat berguna dalam pembelajaran kinetika atau untuk mengawasi proses korosi di plant proses. Metode ini sangat sensitive dan membutuhkan faktor pemercepat seperti temperatur tinggi untuk meningkatkan kecepatan di laboratorium. Pengukuran polarisasi adalah pengujian tidak merusak dan dapat dilakukan beberapa kali untuk mengukur kecepatan korosi secara beruntun pada elektroda yang sama.

Potensial polarisasi,  $\eta$  atau potensial lebih, adalah selisih antara potensial terapan terhadap potensial korosi logam pada keadaan kesetimbangan dengan ionnya dalam larutan (elektrolit). Parameter ini dapat digunakan untuk menyatakan laju pelarutan atau laju proses korosi logam yang bersangkutan, yang dikenal dengan persamaan Tafel sebagai berikut:





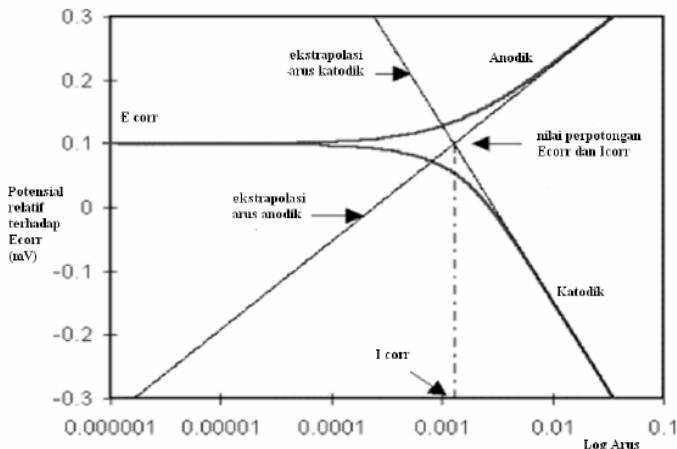
Untuk polarisasi anodik,

$$\eta_{\alpha} = \beta_{\alpha} \log i_{\alpha} - \beta_{\alpha} \log i_0 \dots\dots\dots (2.20)$$

Untuk polarisasi katodik,

$$\eta_k = \beta_k \log i_k - \beta_k \log i_0 \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan  $\eta_{\alpha}$   $\eta_k$   $i_{\alpha}$   $i_k$  dan  $i_0$  berturut turut adalah potensial polarisasi anodik, potensial polarisasi katodik, rapat arus anodik, rapat arus katodik dan rapat arus korosi pada kesetimbangan. sedangkan  $\beta_{\alpha}$  dan  $\beta_k$  disebut sebagai tetapan tetapan Tafel atau beta anodic dan beta katodik. Pada saat  $E_{corr}$   $\eta = 0$  dan tetapan tetapan Tafel dinyatakan dalam besaran mV/decade. Tetapan ini digunakan untuk menentukan rapat arus korosi yang berbanding langsung dengan laju korosi. Kurva yang di peroleh dari pengukuran ini seperti pada Gambar 2.9



**Gambar 2.10** Alur Kurva Tafel (Bintang, 2010)



Rapat arus sebanding dengan laju korosi, karena arus yang sama bila terkonsentrasi pada luas permukaan yang lebih kecil menghasilkan laju korosi yang lebih besar. Dengan anggapan bahwa korosi berlangsung seragam, atau merata pada seluruh permukaan logam, laju penetrasi korosi persatuan waktu dapat dinyatakan dalam mm/year.

Kinetika elektrokimia pada sebuah metal yang terkosi dapat dikarakteristikan dengan penentuan kurang lebih 3 parameter polarisasi seperti *Corrosion current density*, *corrosion potensial*, dan *Tafel Slopes*. Kemudian perilaku korosi dapat diperlihatkan oleh sebuah kurva polarisasi (E vs log i). evaluasi dari 3 parameter berikut mengarah ke penentuan polarization resistance ( $R_p$ ) dan Corrosion rate (CR).

Dengan menggunakan persamaan faraday, maka laju korosi dari suatu logam dalam sistem potensiostat dapat dicari.

$$Q = \frac{n \cdot F \cdot W}{M} \dots\dots\dots (2.22)$$

dimana:

- Q : muatan listrik (C)  
n : jumlah elektron yang bereaksi  
W : berat spesimen (gram)  
M : berat molekul (gram)  
F : konstanta *faraday*

Dengan mengolah persamaan 2.16 maka dihasilkan:

$$W = \frac{i \cdot t \cdot EW}{F} \dots\dots\dots (2.23)$$

- i = Arus  
t = Waktu (second)  
EW = Equivalent weight.

Laju korosi (CR) dinyatakan sebagai jumlah massa yang hilang per waktu, sehingga dapat dinyatakan seperti:

$$CR = \frac{W}{t} = \frac{i \cdot EW}{dFA} \dots\dots\dots (2.24)$$

---

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



$$CR = \frac{i_{EW} \times 31.6 \times 106 \times 103}{dFA \times 2.5 \times 106} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$CR = \frac{0.13 i_{corr} \cdot EW}{\rho} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan mengkonversikan CR dengan satuan mpy ke CR dengan satuan mmpy, maka persamaan 11 berubah menjadi:

$$CR = \frac{Kl \cdot i_{corr} \cdot EW}{\rho} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

CR : Laju Korosi (mm/year) untuk  $i_{corr}$  ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ).

Kl :  $3,27 \times 10^{-3} \text{ mm g} / \mu\text{A cm}$ .

$i_{corr}$  : Rapat arus saat  $E_{corr}$   $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  (*exchange current density*).

$\rho$  : density ( $\text{g} / \text{cm}^3$ ).

EW : *Equivalent Weight* (berat ekivalen)

Ekstrapolasi tafel dikenal sebagai ilustrasi pengaplikasian mixed potential theory pada korosi. Ketetapan katodik ekstrapolasi tafel membutuhkan sebuah proses reduksi tunggal. Kondisi ini sering ditemukan pada dearasi larutan asam kuat dimana reaksi reduksi yang terjadi sesuai dengan reaksi pada persamaan (2.5).

Perilaku tafel yang baik dapat diamati pada dearasi elektrolit netral. Dengan adanya semua reaksi katodik lainnya. Polarisasi katodik dikontrol oleh air yang terhidrolisis sesuai dengan persamaan (2.6).

Setelah mengetahui laju korosi maka dapat mengklasifikasikan terhadap ketahanan korosi. Hubungan dari laju korosi dan ketahanan korosi dapat di kelompokkan sebagai berikut: **Tabel 2.3** Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi (Calister, 2000)

Ketahanan korosi	laju korosi				
Relatif	Mpy	Mm/yr	$\mu\text{m}/\text{yr}$	Nm/yr	Pm/s
Sangat baik	<1	<0,02	<25	<2	<1

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



baik	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
cukup	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	20-50
kurang	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200

### 2.10. Korosi Pada Baja Karbon

Baja karbon murni mengalami korosi di hampir semua lingkungan atmosfer bila kelembapan relative melebihi 60% (Peabody, 1967) jika lapisan butir-butir air terbentuk pada permukaan, laju korosi ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan. Tetapi yang paling penting adalah adanya oksigen, pH dan hadirnya ion-ion agresif terutama oksida belerang dan klorida.

Komposisi baja, kondisi permukaan dan sudut exposure-nya sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Penambahan karbon, mangan dan silikon cenderung mengurangi laju korosi.

### 2.11. Penelitian Sebelumnya

**Tabel 2.4** Penelitian- penelitian Sebelumnya

Oleh	Penelitian	Hasil
Kuburi L.S dkk	Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan specimen berupa 4 kupon baja pada larutan asam acetone ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) dengan waktu pencelupan 96 jam dengan menggunakan <i>flow loop system</i> dengan rentang <i>Reynold number</i> 734 sampai 3705.	Semakin meningkatnya nilai Reynold number maka laju korosi yang terjadi juga meningkat. Dalam penelitian tersebut terbentuk korosi yang terjadi adalah korosi erosi



		(Kuburi dkk, 2013)
Bayuseno	<p>Penelitian yang dilaksanakan berupa membandingkan karakteristik korosi erosi pada baja karbon dengan karakteristik korosi erosi yang disebabkan oleh adanya aliran fluida menggunakan material uji ST 40 dan ST 60. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air laut ke dalam pipa dan spesimen.</p>	<p>Pada baja karbon rendah (ST 40) mengalami korosi sumuran dan korosi erosi yang sangat sedikit sampai susah terlihat saat dilakukan pengujian SEM. Sedangkan pada baja karbon menengah (ST 60) terlihat jelas korosi erosi yang terjadi berupa bentuk terkikis ketika dilakukan uji SEM</p>
Chen dkk	<p>Penelitian dilaksanakan dengan membandingkan <i>system flow loop system</i> dengan jenis aliran fluida slug pada kondisi tanpa pre-corrosion dan dengan pre-corrosion.</p>	<p>Hasil yang didapat menyatakan bahwa pada kondosi pre-corrosion pada pencelupan selama 3.5 jam pada sistem <i>flow loop system</i> memiliki laju korosi yang besar dengan system RCE. Untuk kondisi tanpa pre-</p>

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



		corrosion pada keadaan aliran slug dengan Froude number 6 dan 9 dengan keadaan aliran penuh serta waktu pencelupan selama 0.5 jam menghasilkan plot Nyquist yang menampilkan perubahan transfer resistansi pada Froude number 9 < Froude number 6. Sehingga dari keadaan tersebut disimpulkan bahwa slug pada Froude number lebih besar memiliki laju korosi yang lebih tinggi daripada aliran slug dengan Froude number yang lebih kecil dan aliran penuh pipa
Scheers	Penelitian dilakukan dengan membandingkansistem simulasi pipa antara RCE	Pada pH 10 laju korosi paling kecil namun pada pH 3 trend laju korosi

---

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



	<p>dengan <i>flow loop system</i> dengan kecepatan antara 0 sampai 220 cm/s pada media <i>minewater</i> (dengan kandungan terbanyak NaCl). Adanya pengaruh dari kecepatan aliran dan pH menyebabkan tren peningkatan laju korosi berbeda setiap pH nya.</p>	<p>mempunyai titik tertinggi pada kecepatan tertentu sehingga menghasilkan garis yang melengkung (eksponensial). Namun pada pH 6 dan 7 laju korosi meningkat dan pada pH 4 laju korosi meningkat tajam. Trend laju korosi antara pH 4 dan pH 10 dikarenakan oksigen berdifusi semakin cepat ke permukaan logam pada setiap nilai pH nya. Sehingga berhubungan dengan adanya pembentukan lapisan produk korosi pada permukaan logam</p>
Nicolae Vaszilcsin dkk	<p>Meneliti tentang inhibitor korosi untuk baja karbon rendah dari obat-obatan yang sudah kadaluarsa. Obat-obatan yang digunakan yaitu</p>	<p>Efisiensi inhibitor obat carbamazepine diketahui sebesar 90% pada lingkungan <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math> dan efisiensi</p>

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



	parasetamol dan cabamazepine	inhibitor obat parasetamol diketahui sekitar 85% pada lingkungan asam lemah
Saddam Husein	Pemanfaatan obat parasetamol sebagai inhibitor korosi pada baja API grade b dalam media 3.5% NaCl dan 0.1M HCl	Didapatkan hasil bahwa efisiensi inhibitor obat parasetamol sebesar 66.67% pada lingkungan NaCl 3.5% dengan konsentrasi inhibitor sebesar 200 ppm dan memiliki efisiensi sebesar 53.14% pada lingkungan HCl 1M dengan konsentrasi inhibitor sebesar 200 ppm
Akbar Rakanda Prakarsa	Pengaruh konsentrasi obat parasetamol dan temperatur media elektrolit terhadap laju korosi baja karbon rendah API 5L Grade B pada lingkungan 3.5% NaCl yang mengandung gas CO <sub>2</sub>	Penambahan inhibitor obat paracetamol dalam lingkungan 3.5% NaCl dengan pH=6 pada temperatur 25°C dan 40°C dapat menurunkan laju korosi pada baja API 5L Grade B.





		<p>Pada lingkungan dengan temperatur 25°C laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 150 ppm sebesar 0,041 mm/year, sedangkan pada lingkungan dengan temperatur 40°C laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 200 ppm sebesar 0,941 mm/year.</p>
Guoang Zhang dkk	<p>Penelitian evaluasi efisiensi inhibitor berbasis turunan imidazoline pada larutan yang mengandung gas CO<sub>2</sub></p>	<p>Inhibitor berbasis turunan <i>imidazoline</i> terindikasi menghambat proses reaksi pada katodik maupun anodik. Hal ini dapat disebut sebagai inhibitor campuran. Dari hasil pengujian polarisasi dan electrochemical impedance spectroscopy</p>

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



		(EIS), dapat disimpulkan bahwa inhibitor turunan imidazoline dapat menghambat korosi pada baja API X65 dalam larutan NaCl 5% pada lingkungan gas CO <sub>2</sub> dan efisiensi inhibitor meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi inhibitor.
Liu dkk	Perilaku elektrokimia baja Q235 pada air laut yang telah dijenuhkan dengan menggunakan gas CO <sub>2</sub> dengan menggunakan inhibitor korosi berbasis turunan imidazoline.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi semakin meningkat seiring peningkatan konsentrasi inhibitor dan temperatur. Inhibitor turunan imidazoline diketahui sebagai inhibitor campuran dimana pada pengujian EIS, efisiensi inhibitor meningkat seiring



		pertambahan waktu sampai 120 jam lalu menurun setelah 144 jam.
Hutasoit dkk	Inhibitor korosi berbahan dasar imidazoline dengan menggunakan polarisasi tafel pada baja API 5L grade B pada lingkungan NaCl 3.5%	Hasil penelitian menyatakan bahwa senyawa imidazoline yang teradsorpsi pada permukaan logam memiliki jenis gugus fungsi C=N, C-N, C-N-C, dan N-H dan efisiensi inhibitor paling maksimum adalah pada konsentrasi 150 ppm dengan efisiensi sebesar 64.80%
Singh	Kinetika korosi baja ringan dalam larutan asam asetat encer	Perilaku korosi baja ringan memiliki tanda ketergantungan pada konsentrasi, suhu dan waktu pemaparan. Sebuah korelasi antara laju korosi dan keadaan permukaan baja ringan diamati pada berbagai periode perendaman.

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



		Asam asetat 20% - 30% lebih bersifat korosif terhadap baja ringan.
Rizqi Ilmal Yakin	Meneliti pengaruh pH dan laju aliran fluida terhadap karakteristik korosi baja karbon rendah menggunakan <i>flow loop system</i> pada lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$	Semakin tinggi kecepatan laju aliran fluida dan semakin menurunnya pH maka laju korosi pada baja karbon rendah semakin meningkat dengan laju korosi pada weight loss 5 hari dengan pH 5 dan kecepatan aliran 1.328 m/s sebesar 0.6716 mm/year. Laju aliran dapat mengubah morfologi permukaan baja karbon rendah dengan memperlihatkan permukaan yang tergerus dan kasar. Sehingga pada pada pengujian XRD tidak terlihat adanya produk korosi

---

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



Dendra Ravelia	Meneliti pengaruh pH, kecepatan putar dan konsentrasi inhibitor berbasis Imidazolin terhadap laju korosi baja AISI 1045 di lingkungan yang mengandung gas CO <sub>2</sub>	<p>Penambahan konsentrasi inhibitor korosi <i>imidazoline</i>, menurunkan laju korosi baja AISI 1045 pada pH 5. Pada pengujian pH 7, laju korosi menurun sampai dengan konsentrasi 100 ppm. Kemudian, terjadi sedikit peningkatan laju korosi pada konsentrasi 150 ppm dan menurun kembali pada 200 ppm. Meningkatnya kecepatan putar menaikkan laju korosi baja AISI 1045. Meningkatnya nilai pH menurunkan laju korosi baja AISI 1045</p> <p>Mekanisme inhibisi dari inhibitor korosi <i>imidazoline</i> adalah</p>
-------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



		<p><i>chemisorption</i> dengan adanya donor elektron atom nitrogen <i>pyridine</i> dengan Fe. Kemudian bagian rantai hidrokarbon menghindarkan permukaan logam untuk bersentuhan dengan elektrolit karena bersifat hidrofobik. Sehingga, terbentuk lapisan yang melindungi permukaan logam dari korosi.</p>
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

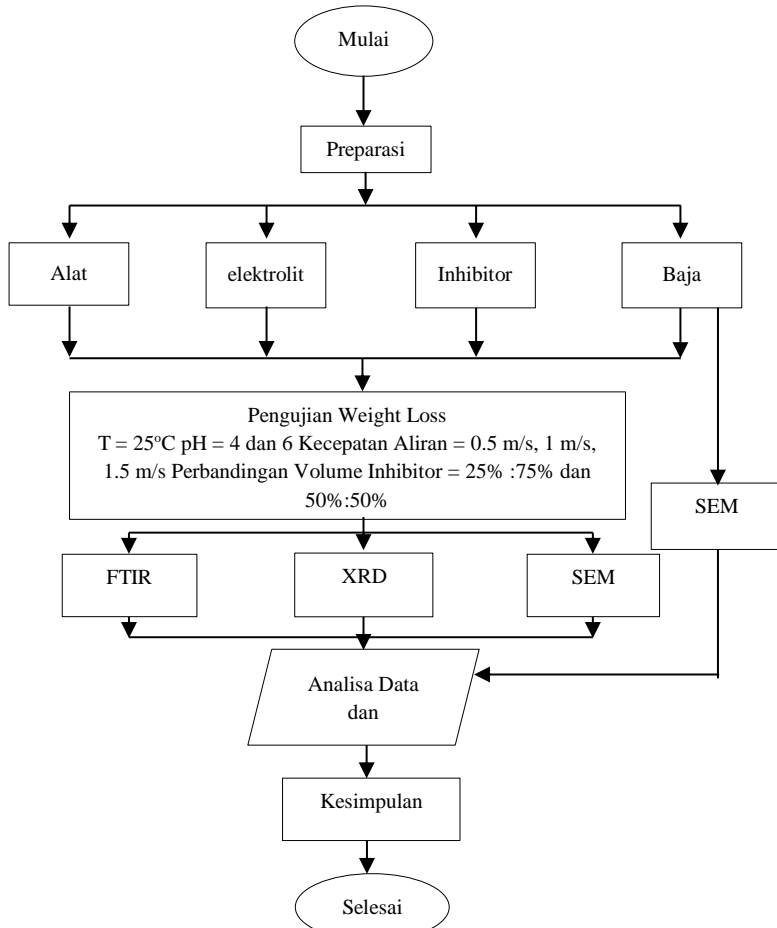


*(Halaman sengaja dikosongkan)*



### BAB III METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Percobaan



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian





---

## 3.2. Prosedur Penelitian

### 3.2.1 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitiann kali ini menggunakan buku, jurnal serta informasi-informasi dari situs industri sebagai patokan dalam mempelajari pengaruh pH, fraksi volume inhibitor dan laju aliran fluida terhadap karakteristik serta laju korosi baja karbon rendah ST-41

2. Diskusi dan *interview*

Metode ini bertujuan memberikan wawasan kepada penulis agar memahami masalah dari penelitian. Hal ini dilakukan dengan dosen pembimbing dan dosen mata kuliah serta tenaga ahli di bidang korosi.

3. Experimental

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan data langsung dari pengujian sesuai prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian dalam experimen ini yaitu: *weight loss corrosion*, XRD, SEM dan FTIR.

### 3.2.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pompa
2. Timbangan Digital
3. Bak 40 Liter
4. Bak 20 Liter
5. Pipa PVC 0.5, 1 dan 1<sup>1/2</sup> inc.
6. Gelas Ukur
7. Lem Tembak
8. Alat Pemotong Sampel
9. Pipet



- 
10. Kertas Amplas
  11. Timbangan Digital
  12. Indikator pH digital
  13. Kertas Label
  14. Jangka Sorong
  15. Peralatan Pengujian SEM
  16. Peralatan Pengujian XRD
  17. Peralatan Pengujian FTIR
  18. Selotip pipa

### 3.2.3 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Material

Material yang digunakan ialah baja karbon rendah ST 41 yang merupakan baja struktur standarisasi Jerman (*DIN=Deutch Industrie Normae*) dengan kekuatan tarik sebesar 41 kgf/mm<sup>2</sup> dan memiliki komposisi kimia yang ditampilkan pada tabel 3.1

**Tabel 3.1** Komposisi Baja ST-41

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Fe (%)
0,151	0,199	0,563	0,022	0,047	Balance

Baja untuk spesimen uji diperoleh dari agen resmi penjual baja PT. Sutindo dengan suplier dari PT. Benteng Anugerah Sejahtera, Surabaya.

2. Elektrolit

Larutan elektrolit menggunakan CH<sub>3</sub>COOH 30% (*Acetic Acid*) yang diencerkan dengan aquades sampai pH 4 dan 6.

3. Inhibitor

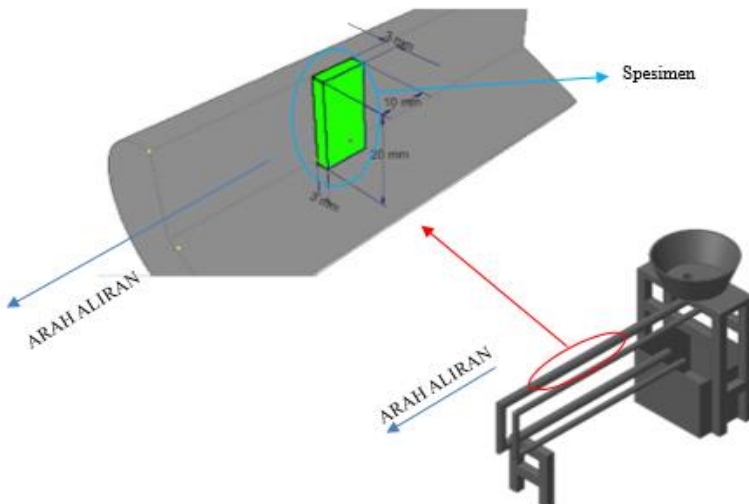
Inhibitor yang digunakan adalah inhibitor turunan *Imidazoline* dan obat *Paracetamol* cair dengan kandungan 220 mg parasetamol per 5ml nya dengan perbandingan fraksi volumenya masing-masing adalah 25%:75% dan 50%:50%

---



### 3.2.4 Preparasi Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu flow loop yang dirangkai dengan menyusun pipa pvc dan pompa sebagai pendorongnya. Yang di gambarkan sebagai berikut:

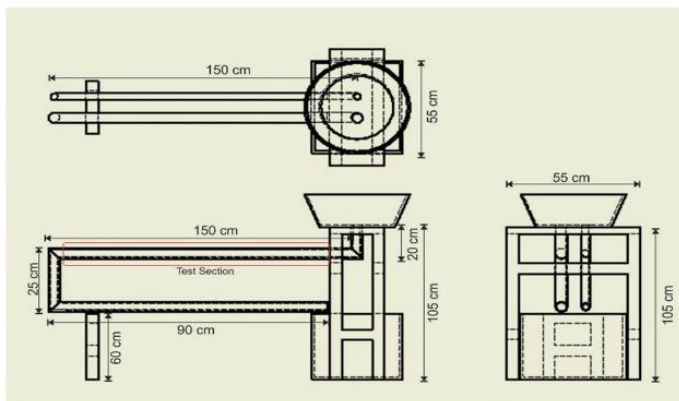


**Gambar 3.2** Rancangan Alat *Flow Loop* 3D

Pada alat *flow loop* ini dirangkai menggunakan pipa PVC dengan diameter 0.5 inc, 1 inc dan 1<sup>1/2</sup> inc sebagai daerah test (*section test*) yang nantinya test coupon di tanam pada daerah yang di telah tentukan lalu dialiri elektrolit. Elektrolit yang mengalir pipa pvc di tampung pada tangki kotak yang bervolume 90 liter. Dan di pompa dengan 4 pompa centrifugal dengan diameter keluar <sup>3</sup>/<sub>4</sub>" menuju bak dengan volume 20 liter yang terletak di atas susunan pipa tersebut. Dalam perhitungan kecepatan elektrolit menggunakan persamaan  $V = Q/A$  dimana Q merupakan debit keluaran pipa yang diukur dengan pengukuran waktu yang dibutuhkan masing-masing pipa untuk mengisi ember dengan



kapasitas 10 liter. Dalam mengatur kecepatan aliran digunakan pemiringan pada pipa vertikal terhadap pipa tempat *test section* dimana untuk pipa dengan ukuran 0.5 inc, 1 inc dan 1<sup>1/2</sup> inc memiliki sudut 90° terhadap pipa *test section*. Aliran yang di hasilkan pada alat ini yaitu 0.5 m/s, 1 m/s dan 1.5 m/s.



**Gambar 3.3** Rancangan alat *Flow Loop 2D*

### 3.2.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilaksanakan dua jenis pengujian yang bertujuan untuk mengetahui laju korosi dan efisiensi inhibitor campuran Imidasolin dan Parasetamol serta mengetahui karakteristik korosi yang terbentuk pada material. Pengujian korosi dilakukan untuk memperoleh data laju korosi dan efisiensi inhibitor pada variasi laju aliran 0.5 m/s, 1 m/s dan 1.5 m/s pada temperatur kamar dengan lingkungan berupa CH<sub>3</sub>COOH 30% yang diencerkan hingga mencapai pH 4 dan 6 digunakan metode *weight loss* selama 4 dan 8 hari. Untuk mendapatkan data mengenai karakteristik korosi maka dilakukan pengujian dengan alat XRD, SEM dan FTIR.

### 3.2.6 Preparasi Uji *Weight loss*

Pada pengujian ini, material yang digunakan adalah plat ST-41 yang dipreparasi menjadi spesimen uji dengan ukuran 10



mm x 20 mm x 3 mm sebanyak 108 spesimen. Ukuran spesimen disesuaikan dengan ukurannya dimana volume larutan minimal untuk merendam sebuah sampel adalah sebanyak 0,4 kali luas permukaan sampel.

1. Proses Picling

Pada proses ini sampel di sikat dengan sikat gigi dengan HCl 5 M yang diencerkan lalu di cuci dengan air sabun. Proses ini bertujuan agar produk korosi yang ada di sampel benar-benar bersih agar saat penimbangan berat awal berat yang terukur berat murni sampel tanpa adanya produk korosi

2. Pengamplasan Sampel

Setelah spesimen selesai di picking selanjutnya dilakukan dilakukan proses pengamplasan, dimana pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan produk korosi yang masih ada di permukaan sampel setelah di picling. Pengamplasan menggunakan grade 80, 120, 320, 400, 600, 800.

3. Pengukuran berat awal sampel

Kemudian setiap sampel diukur berat awalnya dengan menggunakan timbangan digital sebagai data awal percobaan dan ditandai berat masing-masing sampel dengan kertas label.

4. Menuangkan larutan asam  $\text{CH}_3\text{COOH}$  sesuai pH 4 dan 6 yang divariasikan kedalam alat *Flow Loop*

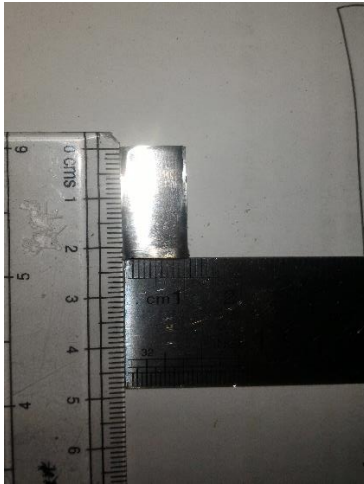
5. Menempelkan dengan glue gun setiap spesimen kedalam pipa *test section* yang sudah di sediakan pada alat *Flow Loop*

6. Mengisolasi *test section* dengan selotip.

7. Data pengurangan massa spesimen diukur tiap interval waktu 4 hari.

8. Menambahkan inhibitor Imidasolin dan Parasetamol dengan perbandingan 25%:75% serta 50%:50% ke dalam elektrolit.

9. Data pengurangan berat spesimen diukur setiap interval waktu 4 hari.



**Gambar 3.4** Spesimen Uji *Weight Loss*



**Gambar 3.5** Tempat Spesimen Uji



**Gambar 3.6** Penimbangan Awal Spesimen

### **3.2.7 Preparasi Elektrolit**

Elektrolit dibuat dengan mengencerkan asam asetat  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1M menjadi pH 4 dan 6 dengan penambahan aquades sebanyak 50 liter untuk mengencerkan 761 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  hingga mencapai pH 4 dan 7.61 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  agar mencapai pH 6. Selanjutnya pH dihitung dengan menggunakan pH meter dan kertas pH untuk mendapatkan pH 4 dan 6 yang akurat.



**Gambar 3.7** Pengukuran pH Elektrolit dengan Kertas pH

### 3.2.8 Preparasi Inhibitor

Inhibitor yang digunakan pada penelitian ini adalah inhibitor turunan *Imidazoline* cair yang dipadukan dengan inhibitor obat parasetamol (*acetaminophen*) dengan perbandingan volume pada masing-masing inhibitor sebesar 25%:75% dan 50%:50%. Inhibitor selanjutnya ditetaskan ke dalam bak agar mengalir pada rangkaian.

## 3.3. Pengujian-pengujian

### 3.3.1. Pengujian *Weight Loss*

Pengujian *weight loss* atau lebih dikenal dengan metode pengurangan berat adalah metode pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan nilai laju korosi pada suatu logam berdasarkan pada pengurangan berat yang dialami oleh material tersebut. Dalam metode ini, sampel dengan berat tertentu dicelupkan dalam larutan atau lingkungan tertentu pada selang waktu yang berbeda. Dengan metode ini maka diketahui seberapa besar penurunan berat yang diakibatkan oleh proses korosi pada material uji. Sehingga bisa diketahui laju korosi karena akibat dari pengaruh laju aliran, pH serta perbandingan volume inhibitor.





---

Pengujian dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Departemen Teknik Material ITS. Langkah-langkah pengujian *weight loss immerse* adalah sebagai berikut:

1. Pengisian *chamber weight loss immerse* dengan 50liter larutan elektrolit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 4
2. Penambahan inhibitor pada larutan dengan perbandingan volume 25%:75%
3. Siapkan 6 spesimen dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 3 mm pada setiap section test pipa yang berbeda ukuran.
4. Menghubungkan selang ke chamber ke section test pipa.
5. Spesimen pertama direndam selama 4 hari kemudian dilakukan pencucian dan penimbangan.
6. Spesimen kedua direndam selama 8 hari kemudian dilakukan pencucian dan penimbangan.
7. Ulangi langkah 1-6 untuk spesimen dengan pH 6
8. Ulangi langkah 1-6 untuk perbandingan volume inhibitor 50%:50%.



**Gambar 3.8** Pengujian *Weight Loss*

**Tabel 3.2** Rancangan Percobaan Uji *Weight Loss*

pH	Kecepatan (m/s)	Waktu (hari)	Sampel	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Selisih berat (gr)
4	0.5	4	1			
			2			
			3			
		8	1			
			2			
			3			
	1	4	1			
			2			
			3			
		8	1			
			2			
			3			
	1.5	4	1			
			2			
			3			
		8	1			
			2			
			3			
6	0.5	4	1			
			2			
			3			
		8	1			
			2			
			3			
	1	4	1			
			2			
			3			
		8	1			
			2			
			3			
	1.5	4	1			
			2			
			3			
		8	1			
			2			
			3			

### 3.3.2. Pengujian *XRD*

Analisa difraksi sinar X dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada baja ST-41 yang telah mengalami



pengujian korosi. Yakni dengan pengkorosian selama 4 hari, dengan menggunakan mesin XRD dan dimensi spesimen adalah 10mm x 10mm x 3mm. Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat *Pan Analytical XRD* di Laboratorium Karakterisasi Departemen Teknik Material

Pada pengujian XRD, sampel ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai tempat yaitu sebuah plat tipis yang berlubang di tengah berukuran sesuai dengan sampel (*plate*) dengan perekat pada sisi baliknya. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan lapisan korosi yang terbentuk. Gambar alat XRD ditunjukkan pada Gambar 3.9



**Gambar 3.9** Mesin XRD

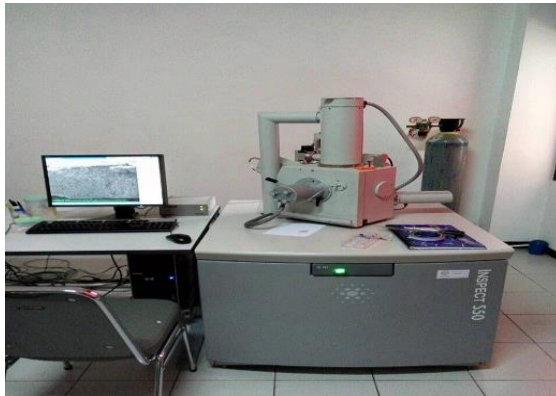
### **3.3.3 Pengujian SEM**

Pengujian *SEM* (*Scanning Electron Microscope*) menggunakan mesin SEM menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi profil permukaan yang terkorosi, distribusi produk korosi, komposisi dan pertumbuhan korosi yang terbentuk pada spesimen baja ST-41



yang dikorosikan selama 8 hari dengan kecepatan 0.5 m/s dan 1.5 m/s. Dimensi spesimen pada pengujian *SEM* ini adalah 10 mm x 10 mm x 3 mm. Pengujian dilakukan di Departemen Teknik Material FTI-ITS. Menggunakan mesin SEM FEI INSPECT. Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk melihat pola korosi dari baja ST 41.

Adapun cara kerja dari SEM adalah *electron gun* memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, *scanner* membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dilihat gambarnya pada monitor dan dicetak bila diperlukan. Gambar alat SEM ditunjukkan pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Mesin SEM

### **3.3.4 Pengujian FTIR**

Spektroskopi *FTIR* (*Fourier Transform Infrared*) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi Fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FTIR adalah Interferometer Michelson yaitu alat



untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisi cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ )

Pengujian dilakukan di Jurusan Departemen Teknik Material FTI-ITS. Pengujian spektroskopi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada inhibitor berbasis turunan *imidazoline* dan Parasetamol. Pengujian FTIR dilakukan pada Parasetamol dan *Imidazoline* secara terpisah untuk mengetahui gugus fungsi dari kedua inhibitor tersebut. Lalu dilakukan pengujian FTIR lagi pada campuran inhibitor Parasetamol dan *Imidazoline* yang menghasilkan laju korosi paling rendah atau yang memiliki efisiensi paling tinggi untuk mengetahui bagaimana perubahan gugus fungsi ketika kedua inhibitor tersebut digabungkan. Pengujian FTIR diberikan pada spesimen terbaik pada interval waktu pengambilan data 4 hari dan 8 hari. Sehingga, didapat data gugus fungsi inhibitor *imidazoline* dan Parasetamol serta gugus fungsi dari inhibitor yang terbentuk pada spesimen. Gambar mesin FTIR ditunjukkan pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.12** Alat Uji FTIR



### 3.4 Rancangan Pengambilan Data dan Penelitian

Untuk memudahkan dalam melaksanakan penelitian, proses pengolahan dan analisa data maka dibuat rancangan pengujian serta pengambilan data seperti pada Tabel 3.3:

**Tabel 3.3** Tabel Rencana Pengujian

Spesimen	pH	Laju Aliran	Perbandingan Volume Inhibitor	Hari	Weight Loss	FTIR	XRD	SEM
<b>Baja Karbon Rendah ST-41</b>	-	-	-	-	-	-	-	✓
<b>Baja Karbon Rendah ST-41</b>	4	0.5	-	4	✓	-	-	✓
	6	1		8				
		1.5						
<b>Baja Karbon Rendah ST-41</b>	4	0.5	25%+75%	4	✓	✓	✓	✓
	6	1		8				
		1.5	50%+50%					
<b>Parasetamol</b>	-	-	-	-	-	✓	-	-



---

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV

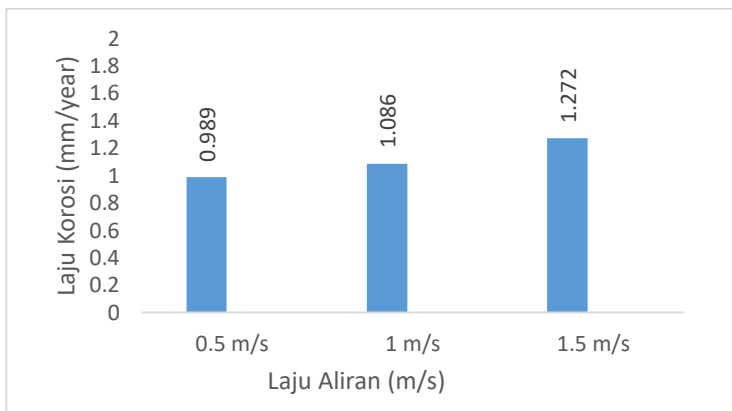
### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang mengacu pada prosedur penelitian pada bab 3 maka didapatkan data penelitian berupa Gambar dan data numerik yang meliputi: Tabel laju korosi spesimen menggunakan metode *Weight Loss*, Tabel uji Spektrometer, grafik hasil uji *X-Ray Diffraction*, grafik hasil uji FTIR spesimen, grafik uji FTIR inhibitor Parasetamol serta Imidasolin serta Gambar morfologi permukaan spesimen hasil uji *Scanning Electron Microscope*.

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Hasil Pengujian *Weight Loss*

Dari pengujian *weight loss* yang dilakukan maka dapat diketahui laju korosi pada spesimen serta besarnya efisiensi inhibitor Parasetamol dan Imidasolin dilihat dari pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang direndam dengan variasi pH, laju aliran serta perbandingan volume inhibitor. Laju korosi pada variasi laju aliran ditampilkan pada Gambar 4.1



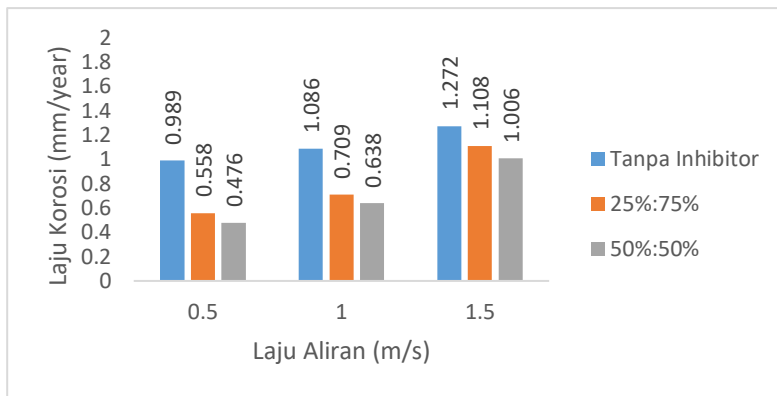
**Gambar 4.1** Laju Korosi Baja ST-41 pada Variasi Laju Aliran di pH 4





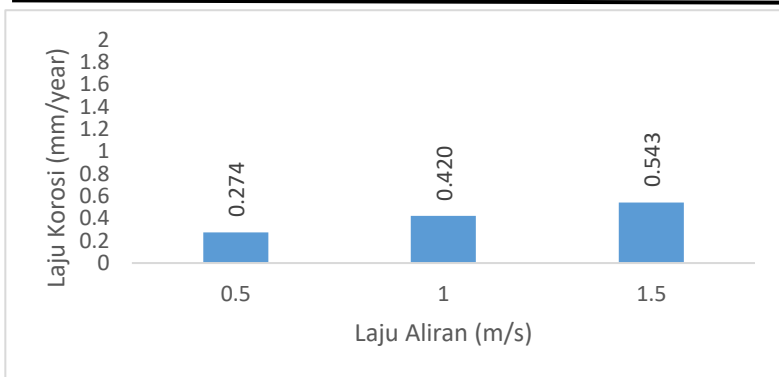
Dari Gambar 4.1 diketahui bahwa nilai laju korosi spesimen meningkat dengan bertambahnya laju aliran fluida dimana laju korosi paling tinggi terdapat pada laju aliran 1.5 m/s sebesar 1.272 mm/year

Laju korosi spesimen baja ST-41 pada immersi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 4 akibat variasi penambahan inhibitor dijelaskan pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



**Gambar 4.2** Laju Korosi Basa ST-41 pada Variasi Penambahan Inhibitor di pH 4

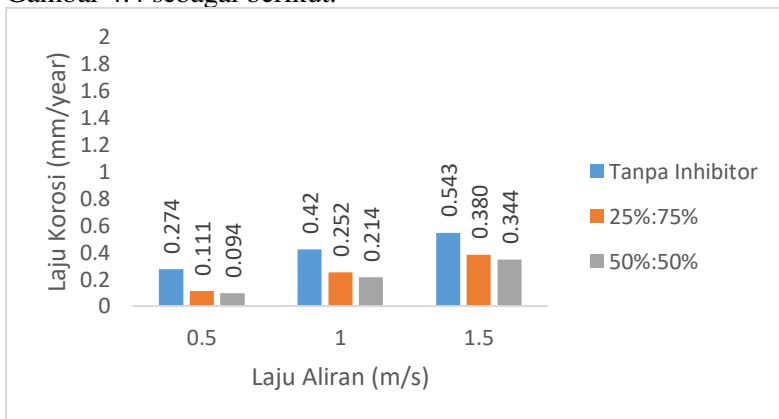
Dari Gambar 4.2 diketahui bahwa penambahan inhibitor menurunkan laju korosi baja St-41 di semua laju aliran fluida. Laju korosi paling rendah terdapat pada spesimen dengan penambahan inhibitor sebesar 50%:50%. Laju korosi spesimen baja ST-41 pada immersi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 6 pada variasi laju aliran ditampilkan pada Gambar 4.3



**Gambar 4.3** Laju Korosi Baja ST-41 pada Variasi Laju Aliran di pH 6

Dari Gambar 4.3 diketahui bahwa nilai laju korosi spesimen meningkat dengan bertambahnya laju aliran fluida dimana laju korosi paling tinggi terdapat pada laju aliran 1.5 m/s sebesar 0.543 mm/year

Laju korosi spesimen baja ST-41 pada immersi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 6 akibat variasi penambahan inhibitor dijelaskan pada Gambar 4.4 sebagai berikut.

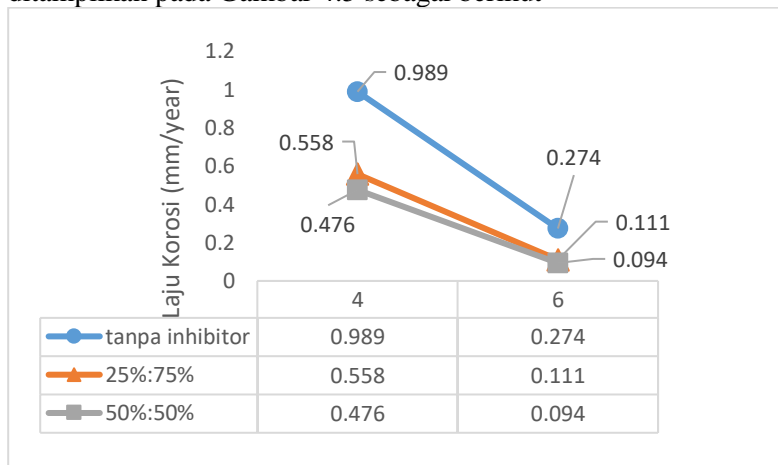


**Gambar 4.4** Laju Korosi Basa ST-41 pada Variasi Penambahan Inhibitor di pH 6



Dari Gambar 4.4 diketahui dengan penambahan inhibitor menurunkan laju korosi baja ST-41 di lingkungan pH 6 dimana laju korosi paling rendah dihasilkan dengan penambahan inhibitor sebesar 50%:50% sebesar 0.094 mm/year.

Laju korosi baja ST-41 akibat dari adanya variasi pH ditampilkan pada Gambar 4.5 sebagai berikut



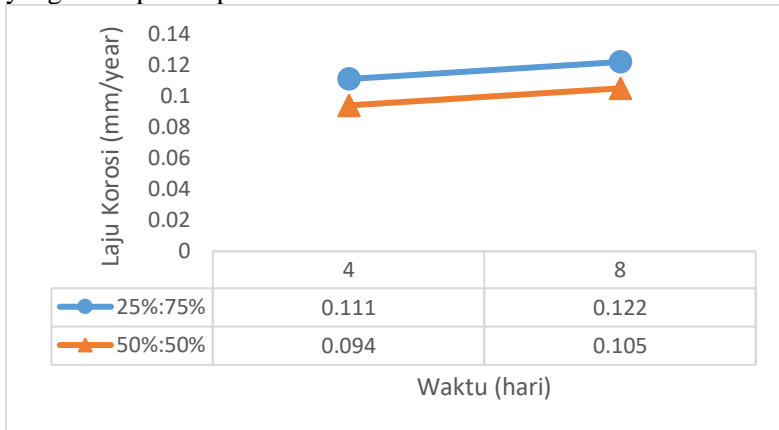
**Gambar 4.5** Laju Korosi pada Variasi pH dan Rasio Inhibitor

Dari Gambar 4.5 diketahui bahwa laju korosi menurun dengan meningkatnya pH pada spesimen tanpa inhibitor maupun pada spesimen dengan penambahan inhibitor. Laju korosi spesimen tanpa penambahan inhibitor menurun dari 0.989 mm/year menjadi 0.274 mm/year, pada spesimen dengan variasi inhibitor 25%:75% laju korosi menurun dari 0.558 mm/year menjadi 0.111 mm/year dan pada spesimen dengan variasi inhibitor 50%:50%, laju korosi menurun dari 0.476 mm/year menjadi 0.094 mm/year.

untuk mengetahui waktu efektif penggunaan inhibitor maka dilakukan perbandingan laju korosi baja ST-41 dengan



variasi penambahan inhibitor pada pH 6 dengan laju aliran 0.5 m/s yang ditampilkan pada Gambar 4.6

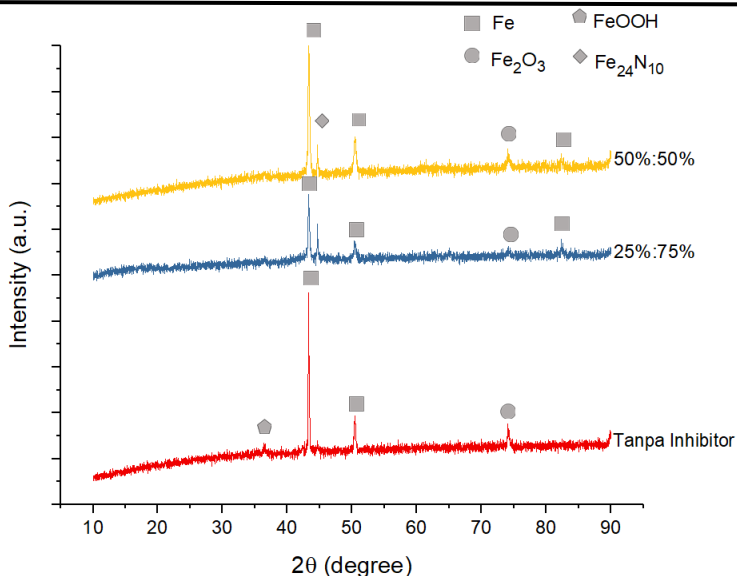


**Gambar 4.6** Laju Korosi Baja ST-41 dengan Penambahan Inhibitor pada Variasi Waktu Perendaman

Dari Gambar 4.6 diketahui bahwa laju korosi baja ST-41 disertai penambahan inhibitor meningkat dengan bertambahnya waktu sehingga diketahui penggunaan inhibitor dengan variasi 25%:75% dan 50%:50% efektif dalam penggunaan selama 4 hari.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan pada sampel pH 6 pada laju aliran fluida 0.5 m/s tanpa penambahan inhibitor dan pada spesimen disertai penambahan inhibitor dengan perbandingan volume sebesar 50%:50% dan 25%:75%. Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada permukaan sampel setelah dilakukan perendaman. Hasil pengujian dianalisa menggunakan *software* Match dimana hasil pengujian XRD ditampilkan pada Gambar 4.7



**Gambar 4.7** Hasil Pengujian XRD Spesimen pada CH<sub>3</sub>COOH pH 6 Laju Aliran 0.5 m/s

Dari hasil pengujian XRD pada Gambar 4.7, posisi puncak peak tertinggi dari ketiga spesimen adalah senyawa Fe yang sesuai dengan COD (*Crystallographic Open Database*) 96-720-4808. Pada kedua spesimen dengan penambahan inhibitor juga ditemukan adanya senyawa Fe<sub>24</sub>N<sub>10</sub> yang sesuai dengan COD (*Crystallographic Open Database*) 96-231-0872. Senyawa produk korosi yang terbentuk diketahui berupa FeOOH pada spesimen tanpa penambahan inhibitor dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Senyawa Fe<sub>24</sub>N<sub>10</sub> terbentuk dari reaksi antara molekul imidasolin yang memiliki 2 atom nitrogen dimana atom nitrogen yang tidak berikatan dengan atom hidrogen memiliki elektron yang tidak berpasangan dan tidak terikat dalam rantai aromatik (*pyridine*). Atom nitrogen pada *pyridine* akan mendonorkan



elektronnya kepada Fe secara *chemisorption*. Sehingga memungkinkan terbentuknya senyawa *iron nitride*.

#### 4.1.3 Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan dengan menggunakan dua sampel. Sampel pertama adalah bahan inhibitor obat parasetamol dan sampel kedua adalah sampel baja yang telah dilakukan perendaman selama 4 hari dengan penambahan inhibitor campuran imidasolin dan parasetamol dengan perbandingan volume sebesar 50%:50% pada pH 6 dengan laju aliran sebesar 0.5 m/s.

Dari hasil pengujian FTIR pada bahan inhibitor korosi, dapat diketahui ikatan yang terkandung didalamnya yang ditunjukkan dalam bentuk peak. Dari penelitian yang telah dilaksanakan oleh Dendra pada tahun 2017 maka dapat diketahui gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor Imidasolin yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Analisa FTIR Inhibitor Imidasolin

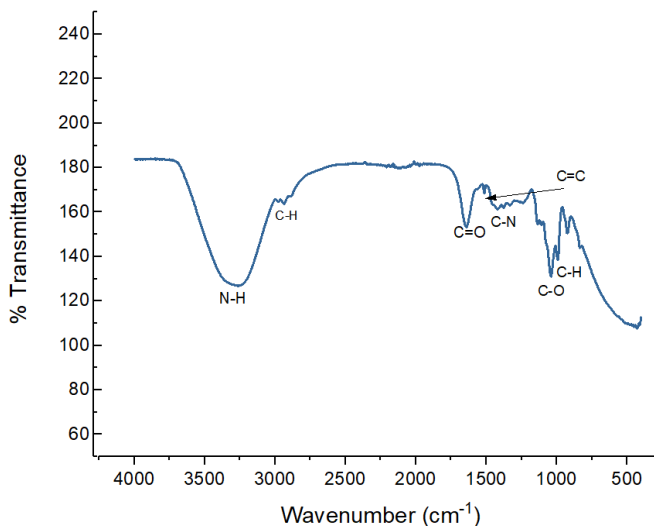
<i>Wavenumber</i> (cm <sup>-1</sup> )	<i>Range</i> <i>Wavenumber</i> (cm <sup>-1</sup> )	<b>Ikatan</b>	<b>Gugus Fungsi</b>
3290.07	3400-3250	N-H	1°, 2° Amines, amides
2966	3000-2850	C-H	Alkanes
2924.65	3000-2850	C-H	Alkanes
2854.65	3000-2850	C-H	Alkanes
1561	1660-1580	C=N	Aromatic Rings
1404.59	1500-1400	C stretch (in rings)	Aromatics
1299.11	1335-1250	C-N	Aliphatic Amines
1160.16	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
1128.88	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines



1107.01	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
1072.64	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
951.58	950-910	O-H	Carboxylic Acid
816.69	850-550	C-Cl	Alkyl Halides
650.96	850-550	C-Cl	Alkyl Halides
650.96	690-515	C-Br	Alkyl Halides
614.81	690-515	C-Br	Alkyl Halides

Dari hasil analisa FTIR pada Tabel 4.1 terdapat beberapa gugus fungsi yang sesuai dengan struktur molekul dari inhibitor imidasolin yaitu *amine* (N-H), *aromatic rings* (C stretch in rings) dan *arimatic amines* (C-N).

Kemudian untuk hasil pengujian FTIR pada sampel obat parasetamol adalah pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Hasil FTIR pada Obat Parasetamol

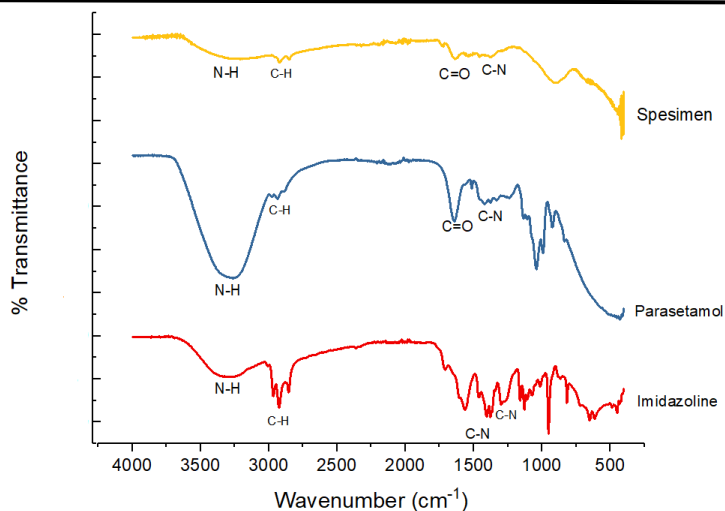
**Tabel 4.2** Hasil Analisa FTIR Obat Parasetamol

<i>Wavenumber</i> ( $\text{cm}^{-1}$ )	<i>Range</i> <i>Wavenumber</i> ( $\text{cm}^{-1}$ )	<b>Ikatan</b>	<b>Gugus Fungsi</b>
3258.50	3400-3250	N-H	1°,2° Amines, amides
2970.98	3000-2850	C-H	Alkane
2932.98	3000-2850	C-H	Alkane
1640.20	1820-1630	C=O	Carbonyl
1514.57	1600-1400	C=C	Aromatic
1327.70	1460-1080	C-N	Amine
1239.05	1360-1080	C-N	Amine
1040.50	1300-1000	C-O	Ether
991.92	1000-675	=C-H	Alkene
923.18	1000-675	=C-H	Alkene

Dari hasil analisa FTIR pada Tabel 4.2 terdapat beberapa struktur molekul yang sesuai dengan struktur molekul obat Parasetamol yaitu N-H (*1°,2° Amines, amides*), C=O (*Carbonyl*) dan =C-H (*Alkene*)

Hasil pengujian FTIR sampel baja pada lingkungan asam asetat pH 6 dengan penambahan inhibitor sebanyak 50%:50% ditampilkan pada Gambar 4.9





**Gambar 4.9** Hasil Uji FTIR Spesimen

**Tabel 4.3** Hasil Analisa Spesimen

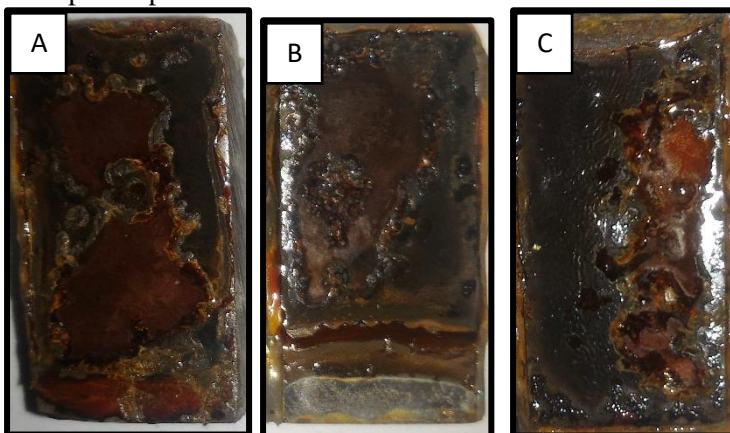
Imidasolin	Parasetamol	Spesimen	Gugus Fungsi
N-H	N-H	N-H	1°, 2° Amines, amides
C-H	C-H	C-H	Alkanes
-	C=O	C=O	Carbonyl
-	C=C	C=C	Aromatic
C=N	-	-	Aromatic Rings
C stretch (in rings)	-	-	Aromatics
C-N	C-N	C-N	Aliphatic Amines
O-H	-	-	Carboxylic Acid
C-Cl	-	-	Alkyl Halides
C-Br	-	-	Alkyl Halides



Dari Tabel 4.3 maka dapat diketahui pada spesimen yang telah direndam, terdapat beberapa gugus fungsi dari inhibitor Imidasolin dan obat Parasetamol yang ditemukan juga pada logam yaitu N-H, C-H dan C-N. Hal ini menandakan bahwa inhibitor campuran tersebut memberikan perlindungan terhadap logam.

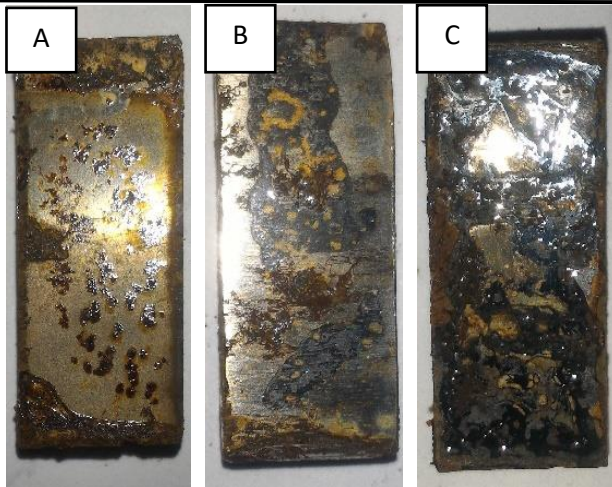
#### 4.1.4 Pengamatan Morfologi Spesimen

Dari pengamatan visual dapat dilihat morfologi permukaan sampel setelah terkorosi dimana sampel pada pH 4 dengan laju aliran 0.5 m/s dengan variasi penambahan inhibitor ditampilkan pada Gambar 4.10



**Gambar 4.10** Pengamatan Visual Spesimen pada pH 4 (a) Tanpa Inhibitor, (b) 25%:75% inhibitor dan (c) 50%:50% Inhibitor

Dari pengamatan visual pada spesimen pH 4 dengan laju aliran sebesar 0.5 m/s tidak begitu terlihat perbedaan pada morfologi spesimen hanya saja ada perbedaan pada luas daerah yang mengalami serangan korosi dimana pada Gambar 4.10(a) merupakan spesimen dengan daerah korosi paling luas dan paling kecil yaitu spesimen pada Gambar 4.10(c).



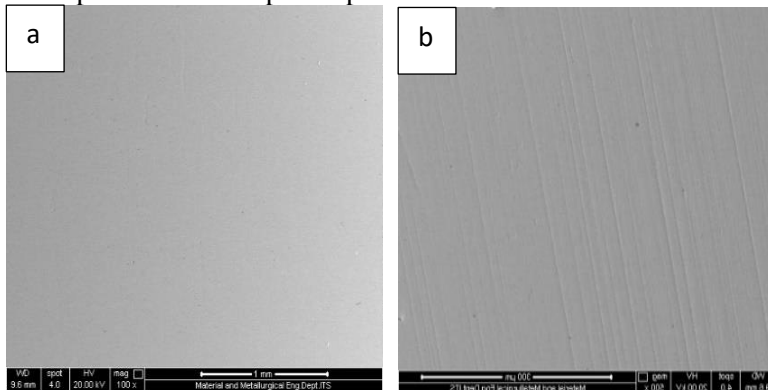
**Gambar 4.11** Pengamatan Visual Spesimen pada pH 6 (a) Tanpa Inhibitor, (b) 25%: 75% inhibitor dan (c) 50%:50% Inhibitor

Dari pengamatan visual pada spesimen di lingkungan pH 6 dengan laju aliran 0.5 m/s diketahui bahwa pada Gambar 4.11(a) terlihat terjadi korosi pada seluruh pinggiran spesimen serta paling parah pada sisi atas dan bawah spesimen, pada Gambar 4.11(b) dengan penambahan inhibitor mengakibatkan surface spesimen yang bereaksi dengan lingkungan semakin berkurang dimana terlihat adanya lapisan hitam yang diduga merupakan inhibitor, dan pada Gambar 4.11 (c) terlihat lapisan hitam menutupi hampir seluruh permukaan logam menandakan adanya kemampuan inhibisi oleh inhibitor pada logam sehingga luasan permukaan logam yang kontak dengan lingkungan semakin berkurang.

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk meneliti morfologi permukaan suatu material. Sampel uji SEM adalah baja ST-41 tanpa perlakuan, dengan perlakuan perendaman  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dan 6 pada laju aliran 0.5 m/s dan 1.5 m/s tanpa penambahan inhibitor dan pada spesimen dengan perlakuan perendaman  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dan 6 pada laju



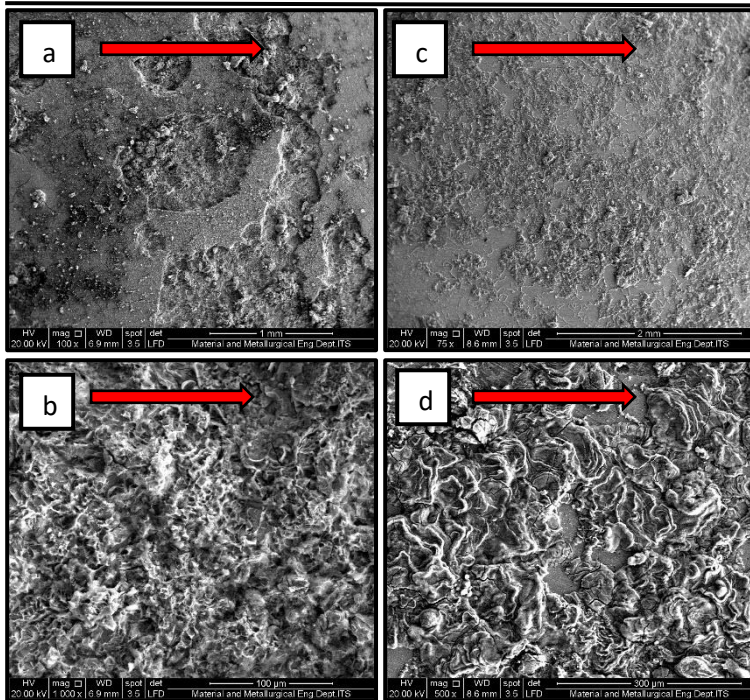
aliran 0.5 m/s dan 1.5 m/s disertai penambahan inhibitor dengan perbandingan volume 25%:75% dimana tanda panah menunjukkan arah aliran fluida. Gambar permukaan baja sebelum diberi perlakuan ditampilkan pada Gambar 4.12



**Gambar 4.12** Spesimen Sebelum Proses Perendaman (a)100x  
(b)1000x

Dari Gambar 4.12(a) dan 4.12(b) memperlihatkan bahwa morfologi permukaan logam terlihat merata dan terlihat halus.

Dengan adanya pengaruh aliran fluida akan memberikan pengaruh pada morfologi permukaan baja yang dapat digambarkan pada Gambar 4.13 dimana tanda panah menunjukkan arah aliran fluida.



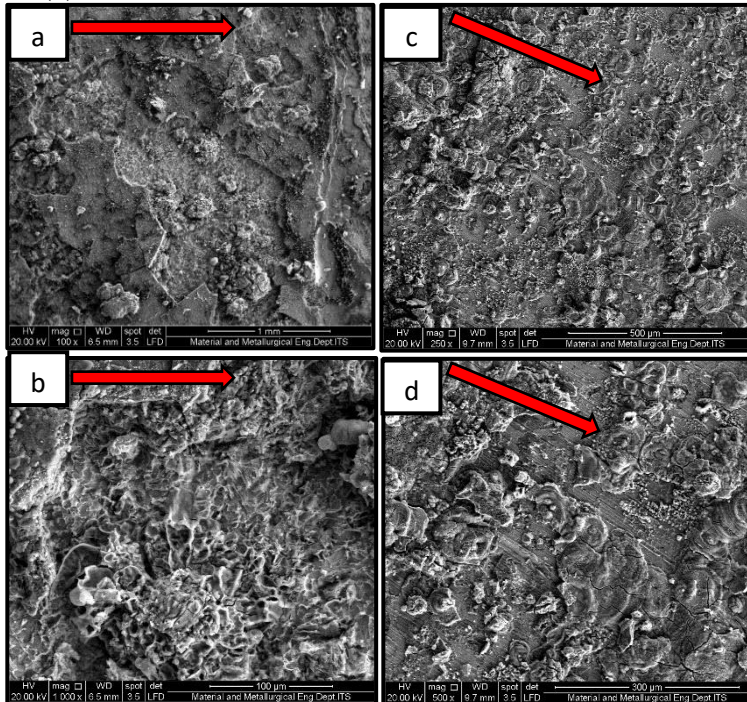
**Gambar 4.13** Hasil Uji SEM Spesimen dengan Perlakuan Perendaman  $\text{CH}_3\text{COOH}$  tanpa Penambahan Inhibitor (a) pH 4 pada 0,5 m/s 100x (b) pH 4 pada 0.5 m/s 500x (c) pH 6 pada 0.5 m/s 100x (d) pH 6 pada 0.5 m/s 500x (Tanda Panah Menunjukkan Arah Aliran Fluida)

Dari Gambar 4.13(a) terlihat adanya produk korosi yang menutupi seluruh permukaan sampel serta adanya produk korosi yang tergerus yang diduga disebabkan oleh adanya aliran fluida sedangkan pada Gambar 4.13(c) memperlihatkan morfologi permukaan yang lebih halus dan lapisan korosi yang terbentuk tidak merata pada sampel hal. Pada saat dilakukan pembesaran seperti Gambar 4.13(b) dan 4.13(d) terlihat bahwa adanya





pengaruh aliran pada kedua sampel yang semakin terlihat jelas yang ditandai dengan adanya permukaan yang sangat kasar pada Gambar 4.13(c) serta adanya produk korosi yang tergerus dan membentuk pola yang mengarah pada satu arah pada Gambar 4.13(d).

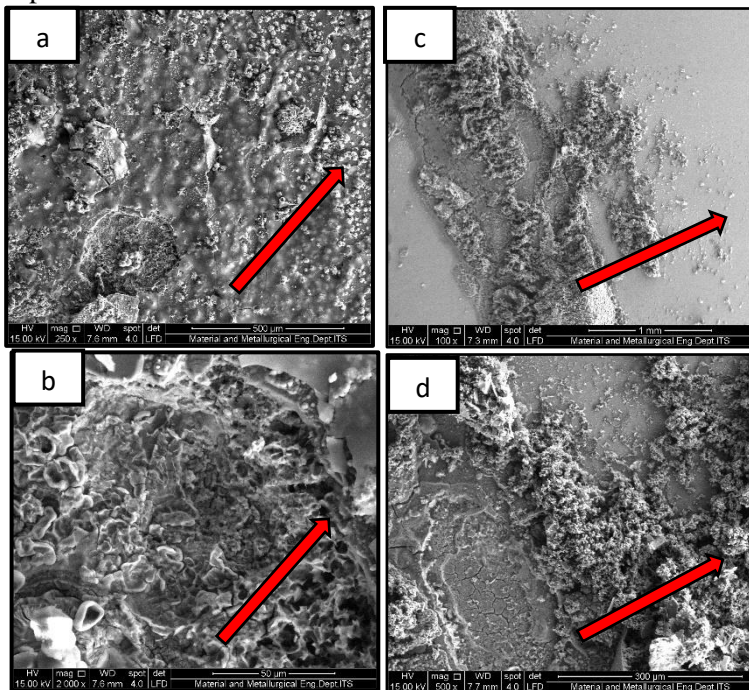


**Gambar 4.14** Hasil Uji SEM Spesimen dengan Perlakuan Perendaman  $\text{CH}_3\text{COOH}$  tanpa Penambahan Inhibitor Laju Aliran 1.5 m/s (a) pH 4 100x (b) pH 4 1000x (c) pH 6 75x (d) pH 6 500x (Tanda Panah Menunjukkan Arah Aliran Fluida)

Dengan meningkatnya laju aliran fluida mengakibatkan adanya perubahan pada morfologi permukaan sampel uji dimana terlihat pada Gambar 4.14(a) dimana produk korosi yang tergerus



terlihat semakin luas sedangkan pada Gambar 4.14(c) permukaan terlihat lebih halus dari sebelumnya, hal ini diakibatkan karena semakin banyaknya produk korosi yang tergerus dan terbawa oleh aliran fluida. Ketika dilakukan pembesaran pada Gambar 4.14(b) terlihat adanya permukaan yang lebih kasar dan tajam dibanding permukaan sebelumnya. Dan pada Gambar 4.14(d) menunjukkan adanya serpihan-serpihan produk korosi yang tergerus dibandingkan Gambar sebelumnya dikarenakan aliran yang lebih cepat.



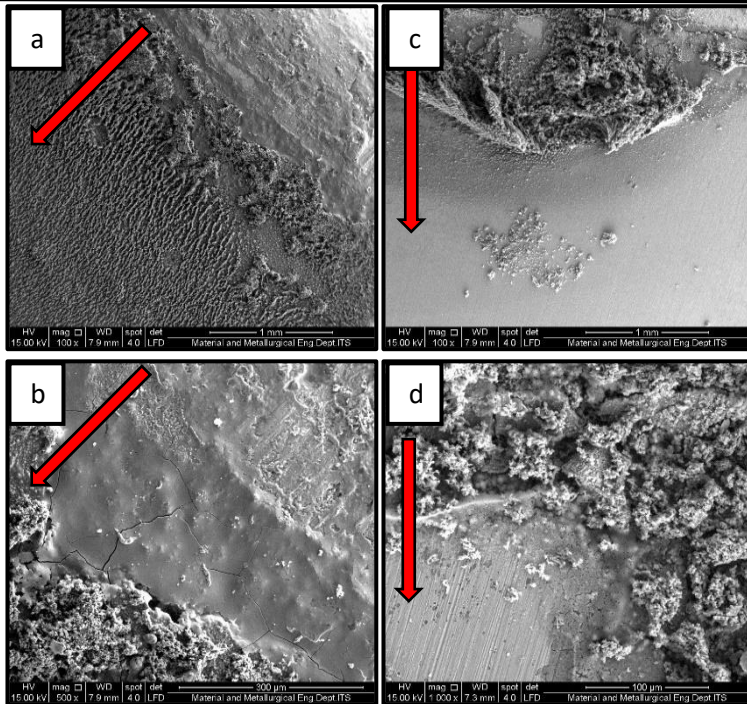
**Gambar 4.15** Hasil Uji SEM Spesimen dengan Perlakuan Perendaman  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan Penambahan Inhibitor 25% : 75% Laju Aliran 0.5 m/s (a) pH 4 100x (b) pH 4 100x (c) pH 6 100x (d) pH 6 1000x (Tanda Panah Menunjukkan Arah Aliran Fluida)



Dengan adanya penambahan inhibitor mengakibatkan adanya perubahan pada spesimen di lingkungan pH 6 dimana spesimen pada Gambar 4.15(c) terlihat lebih bersih terhadap produk korosi dibandingkan dengan spesimen tanpa penambahan inhibitor pada Gambar 4.14(c) sedangkan pada Gambar 4.15(a) terlihat produk korosi menutupi seluruh permukaan sampel. Adanya pengaruh aliran ditunjukkan dengan adanya produk korosi yang tergerus oleh aliran sehingga ada produk-produk korosi yang berukuran lebih kecil berhamburan seperti pada Gambar 4.15(c). Pada Gambar 4.15(a) pengaruh aliran terlihat dari adanya produk korosi yang terlepas sehingga menampakkan morfologi berbeda di bawahnya. Ketika dilakukan pembesaran pada Gambar 4.15(b) terlihat morfologi produk korosi yang sangat kasar di bawah produk korosi yang terbawa oleh aliran. Sedangkan pada Gambar 4.15(d) terlihat adanya produk korosi yang terlepas sehingga memperlihatkan morfologi di bawahnya.

Hasil pengujian SEM pada spesimen dengan rasio penambahan inhibitor 25%:75% pada laju aliran sebesar 1.5 m/s ditampilkan pada Gambar 4.16.





**Gambar 4.16** Hasil Uji SEM Spesimen dengan Perlakuan Perendaman  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan Penambahan Inhibitor 25%:75% Laju Aliran 1.5 m/s (a) pH 4 100x (b) pH 4 1000x (c) pH 6 100x (d) pH 6 1000x. (Tanda Panah Menunjukkan Arah Aliran Fluida)

Pada Gambar 4.16(a) dan 4.16(c) memperlihatkan adanya gerusan yang tidak merata pada setiap bagian daerahnya dimana pada salah satu bagian berbentuk seperti pola aliran sungai dan di salah satu sisinya cenderung terlihat lebih halus. Adanya pola seperti sungai ini diperkirakan oleh adanya laju aliran yang menggerus produk korosi dan pada saat dilakukan perbesaran gambar didapatkan pada daerah yang halus terlihat adanya gerusan yang ditandai dengan adanya permukaan yang lebih kasar



dibandingkan permukaan yang lainnya sehingga diduga hal ini disebabkan adanya laju aliran fluida. Sedangkan pada spesimen di lingkungan pH 6 terlihat permukaan spesimen tidak jauh berbeda pada spesimen pada kecepatan 0.5 m/s. Adanya pengaruh aliran fluida terlihat pada adanya produk-produk korosi yang tergerus sehingga adanya produk korosi yang terlepas dan terhambur pada permukaan spesimen disamping itu juga adanya layer yang terlepas pada spesimen dengan kecepatan 1.5 m/s lebih banyak ketimbang pada laju aliran sebesar 0.5 m/s

#### 4.2 Pembahasan

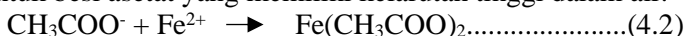
Pengujian *weight loss* dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH, laju aliran fluida serta perbandingan volume penambahan inhibitor berdasarkan dengan pengurangan berat yang terjadi pada spesimen baja ST-41 yang direndam pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Dari Gambar 4.1 dan 4.3 diketahui laju korosi meningkat dengan meningkatnya laju aliran fluida hal ini dikarenakan peningkatan laju aliran fluida mengakibatkan peningkatan pada laju korosi spesimen hal ini dikarenakan peningkatan laju aliran menyebabkan meningkatnya *wall shear stress* yang dapat membuat lapisan oksida yang bersifat protektif tergerus sehingga mengakibatkan material akan terekspos langsung pada lingkungan dan membuat laju korosi meningkat. Disamping itu dengan peningkatan laju aliran meningkatkan suplai oksigen pada fluida sehingga pada laju aliran yang semakin tinggi mengakibatkan suplai oksigen ke permukaan logam semakin kontinu sehingga mengakibatkan laju korosi semakin meningkat (Octoviawan, 2012). kecepatan aliran mendorong beberapa faktor penyebab korosi dimana salah satunya yaitu bertambahnya oksigen serta apabila jika dalam fluida terdapat partikel-partikel padat, lapisan pelindung mungkin tergerus sehingga korosi meningkat. Dari Gambar 4.2 dan 4.4 diketahui bahwa dengan adanya penambahan inhibitor mengakibatkan penurunan laju korosi baja ST-41 sehingga dapat diketahui bahwa inhibitor memberikan



perlindungan kepada logam. Dari Gambar 4.5 diketahui laju korosi menurun dengan meningkatnya pH lingkungan hal ini dikarenakan dalam penelitian ini pengaturan pH lingkungan menggunakan penambahan asam asetat dimana secara sederhana fenomena tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut. Penurunan pH pada  $\text{CH}_3\text{COOH}$  mengakibatkan adanya peningkatan konsentrasi proton ( $\text{H}^+$ ), elektron yang berasal dari reaksi



akan berikatan dengan ion  $\text{H}^+$ , sehingga jumlah  $\text{Fe}^{2+}$  yang dilepaskan untuk menyeimbangkan kelebihan muatan positif akan semakin tinggi. Ion asetat yang terbentuk dari disosiasi asetat dapat membentuk besi asetat yang memiliki kelarutan tinggi dalam air.



Sehingga adanya pelepasan ion  $\text{H}^+$  menyebabkan ion-ion  $\text{H}^+$  itu sendiri akan berdifusi ke permukaan logam sehingga laju korosi akan naik. (Adiyanti, 2011). Dari Gambar 4.6 diketahui laju korosi baja pada penambahan inhibitor meningkat dengan semakin lamanya waktu perendaman, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan inhibitor lebih efektif dalam waktu 4 hari.

Dari hasil pengujian XRD pada Gambar 4.7 didapatkan sejumlah senyawa produk korosi yang terbentuk, pada spesimen tanpa penambahan inhibitor menunjukkan adanya senyawa  $\text{FeOOH}$  yang merupakan produk korosi besi dengan ion hidroksil dari air dan oksigen dari udara dimana reaksi terbentuknya senyawa  $\text{FeOOH}$  adalah sebagai berikut:



Produk korosi yang ditemukan pada seluruh spesimen yaitu senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang merupakan reaksi antara logam dengan oksigen yang terbawa oleh aliran, reaksi terbentuknya  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yaitu sebagai berikut:



Selain itu pada spesimen dengan penambahan inhibitor ditemukan adanya senyawa *iron nitride*  $\text{Fe}_2\text{N}_{10}$  yang merupakan senyawa yang terbentuk dari reaksi antara molekul Imidasolin yang



memiliki 2 atom nitrogen dimana atom nitrogen yang tidak berikatan dengan atom hidrogen memiliki elektron yang tidak berpasangan dan tidak terikat dalam rantai aromatik (*pyridine*). Atom nitrogen pada *pyridine* akan mendonorkan elektronnya kepada Fe secara *chemisorption*.

Kemudian untuk mengetahui apakah inhibitor Imidasolin teradsorpsi pada permukaan logam, dilakukan pengujian FTIR. Dari hasil pengujian pada inhibitor Imidasolin didapatkan gugus fungsi N-H, C-H, C=H dan C-N. sedangkan pada sampel uji, didapatkan gugus fungsi N-H, C-H dan C-N. menurut (Zhang, Huan. 2015) pada hasil FTIR sampel inhibitor Imidasolin terdapat beberapa gugus fungsi seperti N-H, C-H, C=N dan C-N. adanya gugus fungsi *amine* (N-H yang ada pada bagian kepala struktur molekul Imidasolin, menandakan adanya donor elektron yang diberikan oleh atom nitrogen pada bagian *pyridine* kepada Fe dari sampel uji. Sehingga terbentuk reaksi yang kuat antara inhibitor Imidasolin dan sampel uji (Bhargava, 2009). Adanya ikatan C-H sebagai rantai cabang menandakan adanya gugus hidrokarbon di permukaan logam. Dengan adanya gugus C-H membuat senyawa Imidasolin memiliki kemampuan hidrofobik (Hutasoit, 2013). Dari pengujian FTIR pada spesimen ditemukan pula gugus fungsi milik parasetamol yaitu N-H, C-H, C=O, C=C dan C-N sehingga diduga Parasetamol juga teradsorpsi secara fisisorpsi pada permukaan logam dikarenakan tidak ditemukannya senyawa pada hasil XRD spesimen.

Dari pengujian SEM diketahui morfologi permukaan spesimen setelah mengalami korosi erosi. Dari Gambar 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 adanya pengaruh aliran menyebabkan perubahan morfologi pada baja ST-41 setelah perendaman dimana permukaan spesimen menunjukkan adanya gerusan dan permukaan spesimen yang kasar. Gerusan pada permukaan diakibatkan oleh adanya *wall shear stress* yang bekerja pada permukaan dimana peningkatan laju aliran menyebabkan meningkatnya *wall shear stress* yang dapat membuat lapisan oksida yang bersifat protektif tergerus



sehingga mengakibatkan material akan terekspos langsung pada lingkungan (Octoviawan, 2012). Pada Gambar 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 dengan adanya peningkatan laju aliran maka produk korosi yang terlepas semakin meningkat dikarenakan dengan meningkatnya laju aliran mengakibatkan meningkatnya transfer massa (Gabe Dkk, 1997), sehingga produk korosi larut di larutan. Pada Gambar 4.13 (c) dan (d) serta pada Gambar 4.14 (c) dan (d).



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, disimpulkan bahwa:

1. Semakin menurunnya pH maka laju korosi baja ST-41 meningkat, meningkatnya kecepatan aliran fluida meningkatkan laju korosi dan dengan adanya penambahan inhibitor dengan perbandingan volume sebesar 25%:75% dan 50%:50% menurunkan laju korosi baja ST-41 dimana rasio volume inhibitor 50%:50% menghasilkan laju korosi lebih rendah daripada rasio volume 25%:75%.
2. Penambahan inhibitor menurunkan laju korosi dengan mekanisme adsorpsi pada logam baik secara chemisorpsi dan fisisorpsi. Inhibitor Imidasolin mendonorkan satu elektron bebas pada rantai N-H sehingga mengakibatkan adanya ikatan yang kuat antara logam dan Imidasolin. Adanya rantai C-H mengakibatkan logam bersifat hidrofobik. Pada obat Parasetamol adanya gugus fungsi N-H yang memiliki perbedaan muatan dengan logam mengakibatkan adanya tarik-menarik sehingga gugus fungsi tersebut menempel pada permukaan logam.

### 5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya variasi lingkungan pada pengujian selanjutnya untuk menambah referensi tentang korosi pada baja karbon rendah dengan menggunakan *flow loop system*.
2. Perlu adanya percobaan dengan menggunakan spesimen yang mendekati dengan spesifikasi penggunaan pipa pada kondisi real seperti API 5L
3. Menambah adanya variasi yang lain seperti temperatur, penambahan zat padat, peningkatan laju aliran serta mekanisme pada aliran slug untuk menambah referensi



---

tentang korosi baja karbon rendah menggunakan *flow loop system*

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Ostovari, et al. 2009. “*Corrosion Inhibition of Mild Steel in 1 M HCl solution*” by Henna Extract : A comparative study of the Inhibition by Henna and Its Constituents
- Ari Gunapria, Komang. 2014. *Analisis Kualitatif Senyawa Parasetamol (Acetaminophen) pada Urin dan Rambut Menggunakan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (GC-MS)*. Bukit Jimbaran: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana
- \_\_\_\_\_. ASM Handbook Vol. 13.2003. *Corrosion: Fundamentals Testing, and Protection*. ASM Internasional.
- \_\_\_\_\_. ASTM G1- 03 *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. ASTM Internasional
- \_\_\_\_\_. ASTM G4 – 01. *Standard Guide of Conduction Corrosion Test in Field Application*. ASTM International
- \_\_\_\_\_. ASTM G31 – 72 *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. ASTM Internasional
- Bayuseno, A.P, Handoko E.D. 2012. *Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro
- Bhargava, G. 2009. *Imidazole-Fe Interaction in an Aqueous Chloride Medium: Effect of Cathodic Reduction of the Native Oxide*. New Jersey: Langmuir



- Chaitra, Turuvekere. 2016. *Inhibition Activity of New Hydrazones toward Mild Steel Corrosion in Acid Media by Thermodynamic, Electrochemical and Quantun Chemical Method*. India: Department of Studies in Chemistry, Manasagori, University of Mysore
- Elsevier science & Technology books. 2006. *Principle of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. IChem Publisher
- Fontana, M.G.1986. *Corrosion Engineering*, 3rd ed., New York: Mc Graw Hill Company
- Gabe, D.R., dkk. (1997). "The Rotating Cylinder Electrode : its Continued Development and Application". IPTME : Great Britania
- Haryono, Gogot, Tanoto, Yudi. 2010. *Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Kimia FTI UPN "Veteran"
- Hunter, Kevin. 1998. *Acid-base Chemistri of Aquatic System*. New Zealand: University of Otago
- Husienn, Saddam. 2013. *Pemanfaatan Obat Paracetamol Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja API 5L Grade B Dalam Media 3.5% NaCl dan 0.1M HCl*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
- Hutasoit, Rodax Jimmy Wibawa. 2013. *Studi Inhibitor Korosi Berbahan Dasar Imidazoline Dengan Menggunakan Polarisasi Tafel*. Depok: Teknik Metalurgi dan Material UI

Liu, F.G. 2009. *Electrochemical behavior of Q235 steel in saltwater saturated with carbon dioxide based on new imidazoline derivative inhibitor*. PR China: Ocean University of China

Jones, Denny.1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. New York: Macmillan Publishing Company

Kuburi, L.S. et al. 2013. “*Investigation Of inhibitor performance on corrosion rate of low carbon steel under flow condition*”. World science science research journals

Marcus, Philippe. 2002. *Corrosion mechanisms in theory and practice*. Marcel dekker, inc., Printed in the united states of America

Marta. 2014. *Paracetamol: Mechanism of Action, Applications and Safety Concern*. Poland: Department of Pharmacology at the Medical University of Lodz

Munegumi. 2013. *Where is the Border Line between Strong Acids and Weak Acids?* Japan: Department of Science Education, Naruto University of Education

\_\_\_\_\_. NACE RP 0775 – 2005. *Standard Recommended Practice Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations*. NACE Internasional

Ostovari, et al. 2009.” *Corrosion Inhibition of Mild Steel in 1 M HCl solution*” by Henna Extract: A comparative study of the Inhibition by Henna and Its Constituents

Peabody, A W. 1967. *Control of pipeline corrosion*. National Association of Corrosion Engineering press, Texas

- Rakanda Prakarsa, Akbar. 2013. *Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Obat Paracetamol dan Temperatur Media Elektrolit terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah API 5L Grade B pada Lingkungan 3.5% NaCl yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub>*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
- Seheers, P.V .1992. “*The effects of flow velocity and pH on the corrosion rate of mild steel in a synthetic minewater* “. Journal of the south african institute of mining and metallurgy vol.92 no 10
- Singh, S.K. 2009. “*Kinetics of Mild Steel Corrosion in Aqueous Acetic Acid Solution*”. India: Department of Chemistry, University of Delhi
- Tobon, A Cervantes et all. .2015. “*Effect of Flow Rate on the Corrosion Products Formed on Traditional and New Generation API 5L X-70 in a Sour Brine Environment*”. International journal of Electrochemical Science. Vol.10.
- Vaszilchin, Nicolae. 2012. *Corrosion Inhibitor from Expired Drugs*. Romania: University Politehnica of Timisoara
- Yuli, P. A., Mokhtar, C. I., (2010).” *Application of Response Surface Design to Characterize CO<sub>2</sub> Corrosion Mechanistically* “. Petromine Pipeliner.
- Zhang, Huan Huan. 2015. *The behavior of pre-corrosion effect on the performance of imidazoline-based inhibitor in 3 wt.% NaCl solution saturated with CO<sub>2</sub>*. Beijing: University of Science and Technolog Beijing
- Zhang, Guoan. 2007. *Evaluation of inhibition efficiency of an imidazoline derivative in CO<sub>2</sub>- containing aqueous solution*. Beijing: China University xof Petroleum

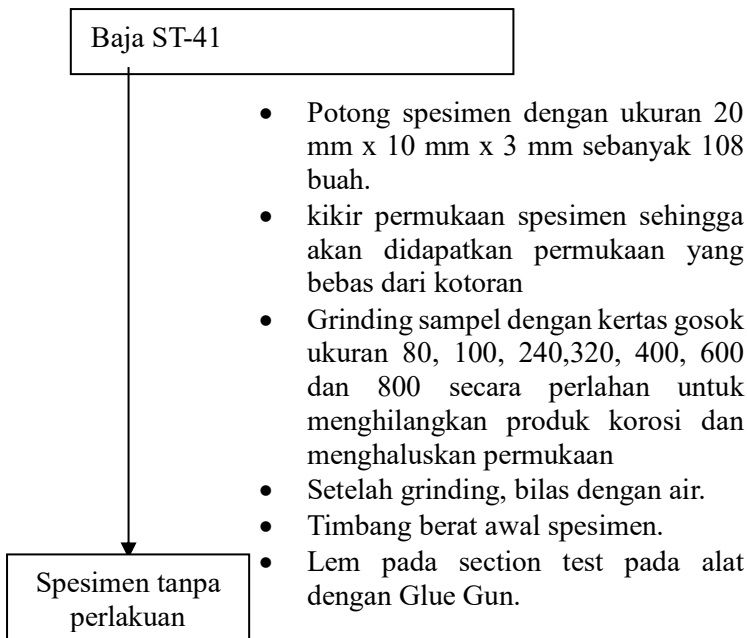
Zhang, Xueyuan. 2000. *Study of The Inhibiton Mechanism of Imidazoline Amide on CO<sub>2</sub> Corrosion of Armco Iron*. China: The Chinese

*(Halaman sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN A

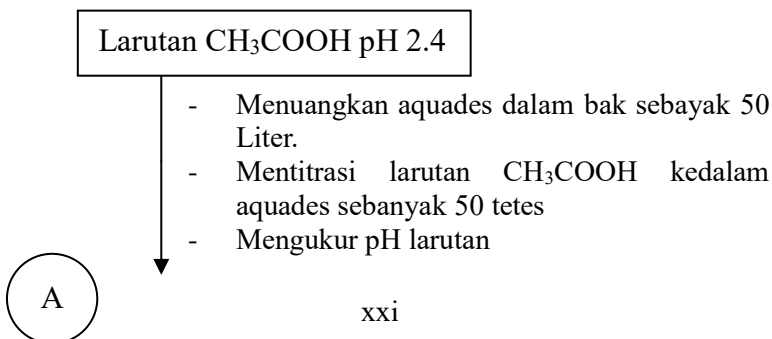
### Skema Kerja

#### 1. Pembuatan Spesimen Weight Loss



#### 2. Pembuatan Media Elektrolit

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4



Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 6

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 2.4

- Menuangkan aquades dalam bak sebanyak 50 Liter.
- Mentitrasi larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  kedalam aquades sebanyak 16 pipet.
- Mengukur pH larutan

Larutan  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 6

### 3. Metode Uji Weight Loss

Bahan

- Spesimen
- Media Elektrolit

- Siapkan chamber weight loss immerse.
- Siapkan 4 spesimen baja komersil ST-41 SPHC dengan ukuran 10 mm x 20 mm x 3 mm.
- Masukkan larutan asam asetat ke dalam chamber.
- Rendam spesimen pada pipa dengan kecepatan 0.5 m/s

Menunggu selama 4 dan 8 hari

- Pengambilan gambar, pencucian menggunakan metode brushing sesuai standar ASTM G1 dan penimbangan.
- Ulangi langkah diatas untuk spesimen dengan peningkatan kecepatan laju aliran 1m/s dan 1.5 m/s

Mendapat Pengurangan Berat
-------------------------------



## LAMPIRAN B

### PERHITUNGAN *CORROSION RATE* METODE WEIGHT LOSS

Perhitungan laju korosi pada pH 4 dan 0.5 m/s pada 4 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75 \times 10^4 \times 0.0618}{6.08 \times 96 \times 7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = 1.177$$

Perhitungan laju korosi pada pH 4 dan 0.5 m/s pada 8 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75 \times 10^4 \times 0.0703}{5.84 \times 192 \times 7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = 0.697$$

Perhitungan laju korosi pada pH 4 dan 1 m/s pada 4 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75 \times 10^4 \times 0.071}{6.84 \times 96 \times 7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = \mathbf{1.202}$$

Perhitungan laju korosi pada pH 4 dan 1 m/s pada 8 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0989}{7.12x192x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \mathbf{0.804}$$

Perhitungan laju korosi pada pH 4 dan 1.5 m/s pada 4 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0751}{6.84x96x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = \mathbf{1.271}$$

Perhitungan laju korosi pada pH 4 dan 1.5m/s pada 8 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0535}{7.12x192x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \mathbf{0.435}$$

## PERHITUNGAN LAJU ALIRAN FLUIDA

Dari nilai *Reynold Number* menunjukkan untuk aliran eksternal bahwa :

$Re < 2000 \rightarrow$  Aliran Laminar

$2000 < Re < 4000 \rightarrow$  Aliran Transisi

$Re > 4000 \rightarrow$  Aliran Turbulen

Rumus untuk menghitung Reynold Number adalah :

$$Re = \frac{\rho v_{AVG} D}{\mu}$$

Keterangan :  $\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$v_{AVG}$  = Kecepatan rata-rata (m/s)

$D$  = Diameter pipa (m)

$\mu$  = Viskositas dinamik ( $\text{kg/m.s}$ )

- Perhitungan *reynold number* pada 0.5 m/s :

$$Re = \frac{\rho v_{AVG} D}{\mu}$$
$$Re = \frac{1.049 \times 50 \times 3.81}{0.00891}$$

$$Re = 22428.1$$

Termasuk Aliran Turbulen

- Perhitungan *reynold number* pada 1 m/s :

$$Re = \frac{\rho v_{AVG} D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.049 \times 100 \times 2.54}{0.00891}$$

$$Re = 29904.2$$

Termasuk Aliran Turbulen

- Perhitungan *reynold number* pada 1.5 m/s :

$$Re = \frac{\rho v_{AVG} D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.049 \times 150 \times 12.7}{0.00891}$$

$$Re = 224281.1$$

Termasuk Aliran Turbulen

Dengan hasil perhitungan di atas maka di dapatkan penggolongan aliran fluida sebagai berikut.

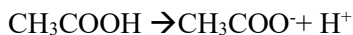
Laju Aliran (m/s)	<i>Reynold Number</i>	Jenis Aliran
0.5	22428.1	Turbulen
1	29904.2	Turbulen
1.5	224281.1	Turbulen

### PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN ELEKTROLIT CH<sub>3</sub>COOH

Pengenceran menggunakan campuran antara aquades dengan larutan acetic acid glacial dengan kandungan garam sebesar 30% Asam Asetat sebanyak 2.5 liter (2500 ml). Dengan komposisi berikut maka di dapatkan perhitungan pH nya sebagai berikut

$$\text{gram} = \frac{30}{100} \times 1.049 \times 500 = 157.35 \text{ gram}$$

$$\text{Molaritas} = \frac{157.35}{60} \times \frac{1000}{500} = 5.245 \text{ M}$$



$$[\text{H}^+] = \sqrt{ka \times M}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times 5.245}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{9.441 \times 10^{-5}}$$

$$[\text{H}^+] = 0.00971648$$

$$\text{pH} = -\log 0.00971648$$

$$\text{pH} = 2.01$$

#### Pengenceran pH 4

$$\text{pH} = -\log \sqrt{ka \times M}$$

$$4 = -\log \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times M_1}$$

$$10^{-4} = \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times M_1}$$

$$10^{-8} = 1.8 \times 10^{-5} \times M_1$$

$$\frac{10^{-8}}{1.8 \times 10^{-5}} = M_1$$

$$M_1 = 0.0005$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$0.0005 \times 50 = 5.245 \times V_2$$

$$V_2 = \frac{0.025}{5.245}$$

$$V_2 = 4.76 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$V_2 = 4.76 \text{ mL}$$

## Pengenceran pH 6

$$\begin{aligned}\text{pH} &= -\log \sqrt{ka \times M} \\ 6 &= -\log \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times M_1} \\ 10^{-6} &= \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times M_1} \\ 10^{-12} &= 1.8 \times 10^{-5} \times M_1 \\ \frac{10^{-12}}{1.8 \times 10^{-5}} &= M_1\end{aligned}$$

$$M_1 = 5.6 \times 10^{-8}$$

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 5.6 \times 10^{-8} \times 50 &= 5.245 \times V_2 \\ V_2 &= \frac{28 \times 10^{-7}}{5.245} \\ V_2 &= 5.33 \times 10^{-7} \text{ L} \\ V_2 &= 5.33 \times 10^{-4} \text{ mL}\end{aligned}$$

## PERHITUNGAN KECEPATAN ALIRAN MENGGUNAKAN METODE DEBIT AIR

Hasil Perhitungan waktu setiap luas penampang pipa

Waktu	0.5	1	1.5
	17.54	16.89	15.46
	18.31	16.71	15.28
	18.27	16.83	15.21

Didapatkan dari data tersebut

$$Q = \text{Kecepatan} \times \text{Luas dan } Q = \frac{\text{Volume}}{\text{Waktu}}$$

$$0.5'' \rightarrow Q_1 = \frac{10 \text{ liter}}{23.76} = 0.2063 \text{ Liter/s}$$

$$1'' \rightarrow Q_2 = \frac{10 \text{ liter}}{16.81} = 0.5924 \text{ Liter/s}$$

$$1.5'' \rightarrow Q_2 = \frac{10 \text{ liter}}{15.31} = 0.6609 \text{ Liter/s}$$

$$\text{Sehingga Kecepatan} = \frac{\text{Debit}}{\text{Luas}}$$

$$0.5'' \rightarrow V_1 = \frac{0.2063 \times 10^{-3}}{1.2661 \times 10^{-4}} = 1.63 \text{ m/s}$$

$$1'' \rightarrow V_2 = \frac{0.5924 \times 10^{-3}}{5.06406 \times 10^{-4}} = 1.17 \text{ m/s}$$

$$1.5'' \rightarrow V_2 = \frac{0.66091 \times 10^{-3}}{11.3951 \times 10^{-4}} = 0.58 \text{ m/s}$$

## LAMPIRAN C

### HASIL XRD

Media Asam Asetat pH 6 pada kecepatan aliran fluida 0.5 m/s  
penambahan 50% : 50% inhibitor

Entry # 96-231-0872

#### *Phase classification*

<b>Name</b>	Fe <sub>24</sub> N <sub>10</sub>
<b>Formula</b>	Fe <sub>24</sub> N <sub>10</sub>
<b>I/Ic</b>	8.070000
<b>Sample Name</b>	2310871
<b>Quality</b>	C (calculated)

#### References

#### *Publication*

<b>Bibliography</b>	Jack K.H., "The iron - nitrogen system. The crystal structures of epsilon-phase ironnitrides", Acta Crystallographica (1,1948-23,1967) <b>5</b> , 404-411 (1952)
---------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### *Origin of data*

<b>Source of entry</b>	<u>COD (Crystallography Open Database)</u>
<b>Link to orig. entry</b>	<u>2310871</u>

#### Crystal structure

#### *Crystallographic data*



Space group	P 3 1 2 (149)						
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)						
Cell parameters	a= 9.21500 Å c= 4.34400 Å						
Z	1						
Atom coordinates	Element	Oxid.	x	y	z	Bi	Focc
	N		0.333	0.667	0.500	1.000000	1.000000
	Fe		0.000	0.833	0.250	1.000000	1.000000
	Fe		0.500	0.333	0.250	1.000000	1.000000
	N		0.833	0.167	0.500	1.000000	1.000000
	N		0.500	0.500	0.000	1.000000	1.000000
	N		0.167	0.833	0.000	1.000000	1.000000
	Fe		0.500	0.833	0.250	1.000000	1.000000
	Fe		0.000	0.333	0.250	1.000000	1.000000

Diffraction data

Diffraction lines

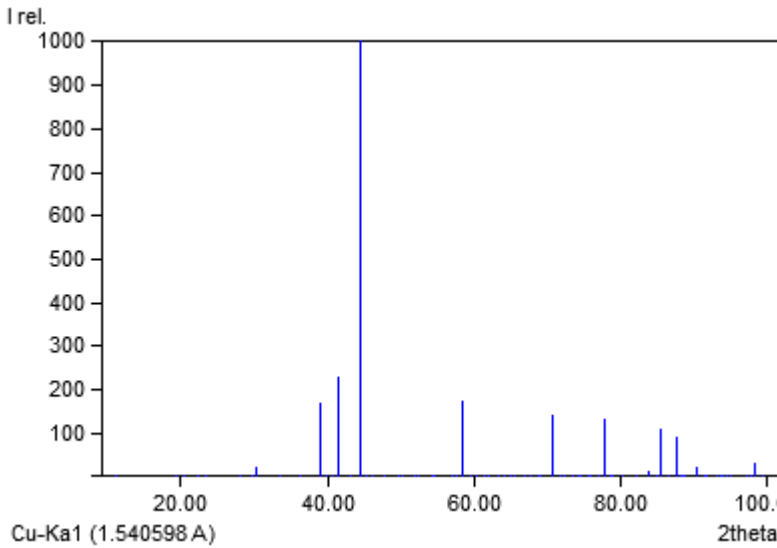
d [Å]	Int.	h	k	l	Mult.
7.9804	3.1	1	0	0	6
4.6075	3.3	1	1	0	6
4.3440	0.9	0	0	1	2

	3.9902	0.6	2	0	0	6
	3.8154	1.0	1	0	1	12
	3.1607	2.2	1	1	1	6
	3.0163	0.5	2	1	0	12
	2.9386	20.8	2	0	1	12
	2.6601	0.6	3	0	0	6
	2.4776	0.5	2	1	1	12
	2.3038	168.5	2	2	0	6
	2.2686	0.6	3	0	1	12
	2.2134	0.1	3	1	0	12
	2.1720	230.0	0	0	2	2
	2.0958	0.1	1	0	2	12
	2.0353	1000.0	2	2	1	6
	1.9951	0.0	4	0	0	6
	1.9721	0.2	3	1	1	12
	1.9646	0.3	1	1	2	6
	1.9077	0.1	2	0	2	12
	1.8308	0.1	3	2	0	12
	1.8130	3.0	4	0	1	12
	1.7626	0.1	2	1	2	12
	1.7415	0.2	4	1	0	12
	1.6871	0.1	3	2	1	12
	1.6824	0.2	3	0	2	12
	1.6164	0.3	4	1	1	12
	1.5961	0.0	5	0	0	6
	1.5804	171.2	2	2	2	6
	1.5503	0.1	3	1	2	12
	1.5358	0.1	3	3	0	6
	1.5082	0.0	4	2	0	12
	1.4982	0.0	5	0	1	12
	1.4693	0.0	4	0	2	12
	1.4480	0.1	0	0	3	2
	1.4333	0.0	5	1	0	12

1.4247	1.9	1	0	3	12
1.3999	0.0	3	2	2	12
1.3814	0.1	1	1	3	6
1.3611	0.7	2	0	3	12
1.3611	0.0	5	1	1	12
1.3587	0.1	4	1	2	12
1.3301	142.6	6	0	0	6
1.3120	0.0	4	3	0	12
1.3054	0.0	2	1	3	12
1.2862	0.0	5	0	2	12
1.2779	0.0	5	2	0	12
1.2718	0.1	3	0	3	12
1.2559	0.0	4	3	1	12
1.2540	0.0	3	3	2	6
1.2388	0.0	4	2	2	12
1.2259	131.2	2	2	3	6
1.2259	0.1	5	2	1	12
1.2170	0.0	6	1	0	12
1.2117	0.0	3	1	3	12
1.1963	0.0	5	1	2	12
1.1719	0.4	4	0	3	12
1.1519	12.5	4	4	0	6
1.1401	0.0	7	0	0	6
1.1357	0.0	3	2	3	12
1.1343	110.3	6	0	2	12
1.1230	0.0	4	3	2	12
1.1134	89.4	4	1	3	12
1.1067	0.0	6	2	0	12
1.1027	0.0	7	0	1	12
1.1014	0.0	5	2	2	12
1.0860	20.8	0	0	4	2
1.0761	0.0	1	0	4	12
1.0724	0.0	5	0	3	12

	1.0724	0.5	6	2	1	12
	1.0617	0.0	6	1	2	12
	1.0570	0.0	1	1	4	6
	1.0570	0.0	7	1	0	12
	1.0536	0.0	3	3	3	6
	1.0479	0.0	2	0	4	12
	1.0445	0.5	4	2	3	12
	1.0271	0.0	7	1	1	12
	1.0218	0.0	2	1	4	12
	1.0218	0.0	5	4	0	12
	1.0187	0.0	5	1	3	12
	1.0176	28.9	4	4	2	6
	1.0095	0.0	7	0	2	12

Diffraction pattern graphics



Experimental

### *Physical Properties*

<b>Calc. density</b>	7.69500 g/cm <sup>3</sup>
--------------------------	---------------------------

### Remarks

#### *Remarks*

<b>Comments</b>	- Diffraction pattern calculated by Match!. - I/Ic calculated by Match!. - Space group has been derived from given symmetry operations.
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Entry # 96-720-4808
---------------------

### *Phase classification*

<b>Name</b>	
<b>Formula</b>	Fe
<b>I/Ic</b>	10.190000
<b>Sample Name</b>	7204807
<b>Quality</b>	C (calculated)

### References

#### *Publication*

<b>Bibliography</b>	Laura Le?n-Reina, Enrique R. Losilla, Mar?a Mart?nez-Lara, Sebasti?n Bruque, Miguel A. G. Aranda, "Interstitial oxygen conduction in lanthanum oxy-apatite electrolytes", J. Mater. Chem. <b>14</b> (7), 1142-1149 (2004)
---------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### *Origin of data*

<b>Source of entry</b>	<u>COD (Crystallography Open Database)</u>
------------------------	--------------------------------------------

**Link to  
orig. entry**

7204807

## Crystal structure

### *Crystallographic data*

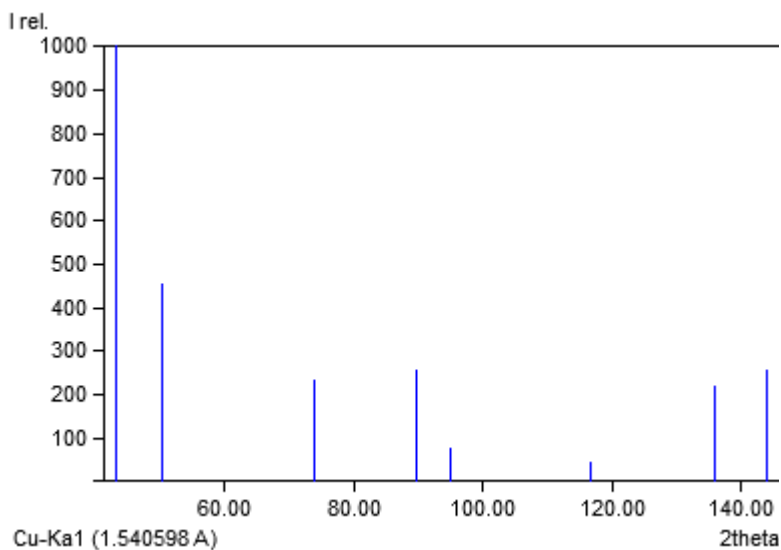
<b>Space group</b>	F m -3 m (225)						
<b>Crystal system</b>	cubic						
<b>Cell parameters</b>	a= 3.62266 Å						
<b>Z</b>	4						
<b>Atom coordinates</b>	<b>Element</b>	<b>Oxid.</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>Bi</b>	<b>Focc</b>
	Fe		0.00	0.00	0.00	0.6110	1.0000
			0	0	0	00	00

## Diffraction data

### *Diffraction lines*

<b>d [Å]</b>	<b>Int.</b>	<b>h</b>	<b>k</b>	<b>l</b>	<b>Mult.</b>
2.0915	1000.0	1	1	1	8
1.8113	453.9	2	0	0	6
1.2808	232.1	2	0	2	12
1.0923	256.1	3	1	1	24
1.0458	75.0	2	2	2	8
0.9057	45.7	4	0	0	6
0.8311	218.0	3	1	3	24
0.8101	256.4	4	0	2	24

## Diffraction pattern graphics



Experimental

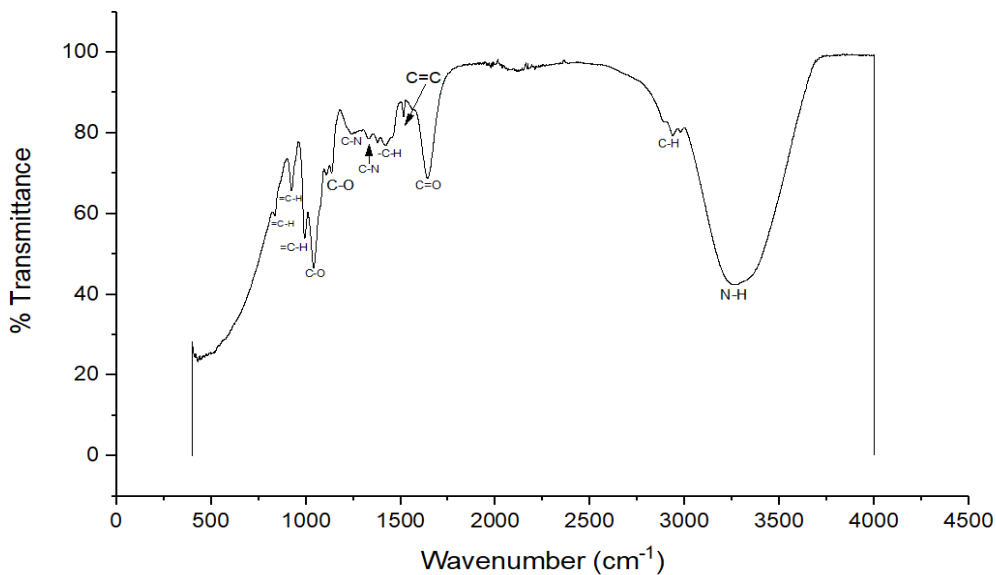
### *Physical Properties*

**Calc.** 7.80100 g/cm<sup>3</sup>  
**density**

Remarks

### *Remarks*

**Comments** - Diffraction pattern calculated by Match!.  
 - I/Ic calculated by Match!.

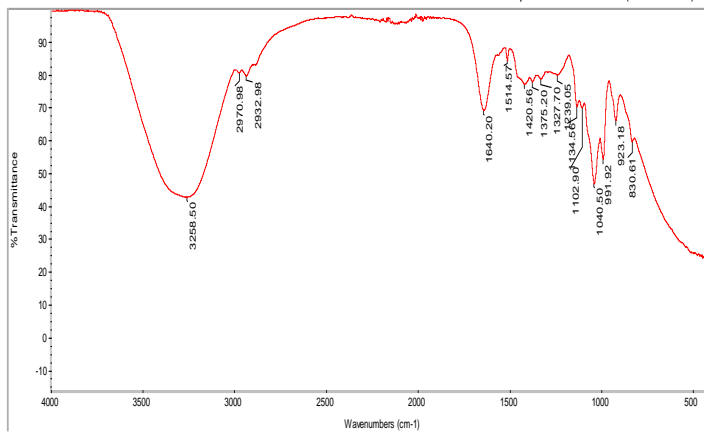


### HASIL FTIR PARASETAMOL



Title: FTIR

Wed Sep 27 14:22:34 2017 (GMT+07:00)



Collection time: Wed Sep 27 14:20:17 2017 (GMT+07:00)

Wed Sep 27 14:21:35 2017 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: FTIR  
 Region: 4000.00 400.00  
 Absolute threshold: 97.729  
 Sensitivity: 50  
 Peak list:  
 Position: 429.04 Intensity: 23.240  
 Position: 923.18 Intensity: 65.794  
 Position: 991.92 Intensity: 53.956  
 Position: 1040.50 Intensity: 46.572  
 Position: 1420.56 Intensity: 76.893  
 Position: 1514.57 Intensity: 84.030  
 Position: 1640.20 Intensity: 68.817  
 Position: 3258.50 Intensity: 42.384

Spectrum:

FTIR

Region: 3495.26-455.13

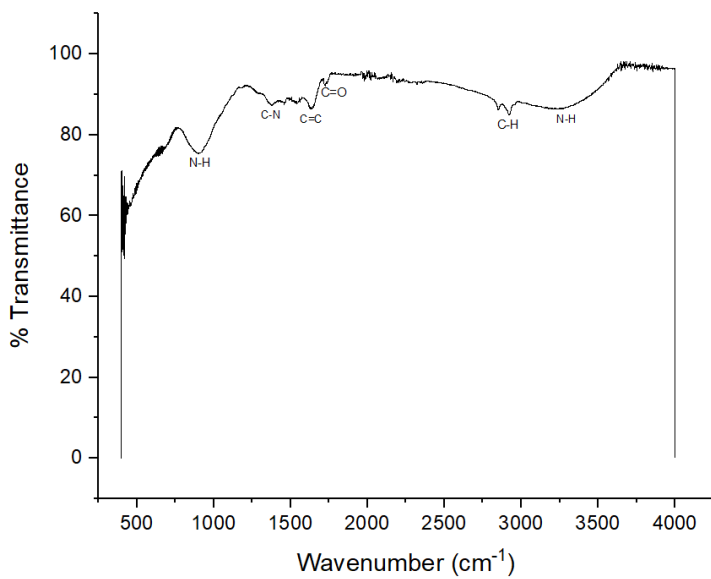
Search type:

Correlation

Hit List:

Index	Match	Compound name	Library
728	64.70	1,2-Propanediol, 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1422	64.02	1,2-Propanediol	HR Hummel Polymer and Additives
729	63.34	(S)-(+)-1,2-Propanediol, 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1679	63.29	1,2-Propanediol	HR Hummel Polymer and Additives
1361	50.73	Glycerol	HR Hummel Polymer and Additives
335	50.33	Glycerol	HR Nicolet Sampler Library
1042	50.07	Glycerol, 99.5+%, spectrophotometric grade	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1168	49.36	Tetraethyl orthosilicate	HR Hummel Polymer and Additives
290	49.15	Formaldehyde - aqueous solution	HR Nicolet Sampler Library
827	48.31	1,5-Hexadien-3-ol, 95%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

## HASIL FTIR SPESIMEN



*(Halaman sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Gde Doddy Rahyudha merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Putu Arimbawa dan Made Mas Suardeni yang lahir di Selat 29 Oktober 1995. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SDN 2 Rendang pada tahun 2008 kemudian menyelesaikan Menengah Pertama di SMPN 2 Amlapura pada tahun 2010 dan menyelesaikan Pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 1 Singaraja pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan studi

S1 di Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI)– ITS pada tahun 2013.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Badan Semi Otonom Minat Bakat HMMT FTI-ITS (2015-2015), staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa TPKH ITS (2014-2015) dan terakhir menjabat sebagai Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa TPKH ITS (2015-2016). Dalam non-akademik, penulis pernah memperoleh peringkat ke-dua pada FOG 2017 cabang basket dan peringkat ke-dua ITS Basketball League 2017, penulis juga aktif mengikuti pertandingan di bidang olahraga lainnya.

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 0821326085788 atau bisa hubungi di alamat email [doddyrahyudha9@gmail.com](mailto:doddyrahyudha9@gmail.com)